

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/002964

International filing date: 17 February 2005 (17.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-044991  
Filing date: 20 February 2004 (20.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 07 April 2005 (07.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

17.02.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 2 月 2 0 日

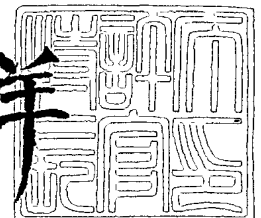
出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 4 4 9 9 1  
[ST. 10/C]: [ J P 2 0 0 4 - 0 4 4 9 9 1 ]

出 願 人  
Applicant(s): 大日精化工業株式会社  
独立行政法人産業技術総合研究所

2 0 0 5 年 3 月 2 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 7X1-0040  
【提出日】 平成16年 2月20日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 26/08  
G02B 6/32  
H01S 3/101

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都中央区日本橋馬喰町 1 丁目 7 番 6 号 大日精化工業株式会社内  
【氏名】 田中 教雄

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県伊勢原市高森 3 丁目 5 番 5 号  
【氏名】 上野 一郎

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
【氏名】 平賀 隆

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
【氏名】 谷垣 宣孝

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
【氏名】 溝黒 登志子

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
【氏名】 山本 典孝

【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府池田市緑丘 1 丁目 8 番 3 1 号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内  
【氏名】 望月 博孝

【特許出願人】  
【持分】 50/100  
【識別番号】 000002820  
【氏名又は名称】 大日精化工業株式会社

【特許出願人】  
【持分】 50/100  
【識別番号】 301021533  
【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代理人】  
【識別番号】 100075258  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 吉田 研二

【選任した代理人】  
【識別番号】 100096976  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 石田 純

【持分の割合】 50/100  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 001753  
【納付金額】 10,500円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

1 種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、  
前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源と、  
前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、  
前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、  
前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射する、または、信号光の開き角度を可変させて出射する 2 つ以上の熱レンズ形成素子と、  
前記各熱レンズ形成素子の各々後方に設けられた、穴と反射手段とを有する鏡であって、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子を出射した信号光を前記穴に通過させ、または、前記反射手段により反射させることによって光路を変化させる鏡と、  
を備えることを特徴とする光制御式光路切替型光信号伝送装置。

**【請求項 2】**

1 種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、  
前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源と、  
前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、  
前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、  
熱レンズ形成素子と穴を有する鏡の組み合わせからなる 2 組以上の光路切替機構と、を備え、  
前記熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、  
前記穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合に、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、前記受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、反射する反射手段と、を有し光路を変更させる鏡である光制御式光路切替型光信号伝送装置。

**【請求項 3】**

1 種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、  
前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源と、  
前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、  
前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

熱レンズ形成素子と穴を有する鏡の組み合わせからなる 2 組以上の光路切替機構と、を備え、

前記熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま出射され、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

前記穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合に、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、前記開き角度を変更させるために設けられた受光レンズを透過させた信号光のいずれかを反射させる反射手段と、を有し光路を変更させる鏡である光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項 4】

1 種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、

前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を制御する制御光光源と、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、

前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

第 1 の熱レンズ形成素子と第 1 の穴を有する鏡との組み合わせからなる 1 組以上の第 1 の光路切替機構と、

第 2 の熱レンズ形成素子と第 2 の穴を有する鏡との組み合わせからなる 1 組以上の第 2 の光路切替機構と、を備え、

第 1 の熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

第 1 の穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合に、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、前記受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、反射する反射手段と、を有し光路を変更させる鏡であり、

第 2 の熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の

制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

第2の穴を有する鏡は、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合に、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を通過させる穴と、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、前記開き角度を変更させるために設けられた受光レンズを透過させた信号光のいずれかを反射させる反射手段と、を有し光路を変更させる鏡である光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項5】

2組以上の前記光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、直列に連結されていることを特徴とする請求項2に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項6】

2組以上の前記光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、直列に連結されていることを特徴とする請求項3に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項7】

2組以上の前記光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、直列に連結されていることを特徴とする請求項4に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項8】

3組以上の前記光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、連結の1段毎に前記鏡の穴を通して直進する方向と反射する方向の2方向に分岐し、多段に連結されていることを特徴とする請求項2に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項9】

3組以上の前記光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、連結の1段毎に前記鏡の穴を通して直進する方向と反射する方向の2方向に分岐し、多段に連結されていることを特徴とする請求項3に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項10】

3組以上の前記光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、連結の1段毎に前記鏡の穴を通して直進する方向と反射する方向の2方向に分岐し、多段に連結されていることを特徴とする請求項4に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項11】

1種類以上の波長の信号光と、前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む2つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射させ、または、信号光の開き角度を可変させて出射させ、

反射面を有する穴付ミラーを用い、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子から出射した信号光を前記穴から通過直進させ、または、反射面で反射させることによって光路を変更させることを特徴とする光信号光路切替方法。

【請求項12】

1種類以上の波長の信号光と、前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む2つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させ、

前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、穴付ミラーの穴に通過させ直進させ、

一方、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から抜がりながら出射する前記信号光をそのまま、あるいは、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射することによって光路を変更させることを特徴とする光信号光路切替方法。

#### 【請求項13】

1種類以上の波長の信号光と、前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む2つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させ、

前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を、穴付ミラーの穴に通過させ直進させ、

一方、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光の光路をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射させることによって光路を変更させることを特徴とする光信号光路切替方法。

#### 【請求項14】

複数の波長の光の内、最も長い波長の光を信号光とし、信号光よりも短い2つ以上の波長の光を制御光とし、前記光路切替機構中の熱レンズ形成素子が吸収する波長が最も短い光路切替機構を第1段とし、第2段以降の前記光路切替機構の熱レンズ形成素子が吸収する各々の波長が長くなる順に後段の光路切替機構を連結することを特徴とする請求項2に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

#### 【請求項15】



複数の波長の光の内、最も長い波長の光を信号光とし、信号光よりも短い2つ以上の波長の光を制御光とし、前記光路切替機構中の熱レンズ形成素子が吸収する波長が最も短い光路切替機構を第1段とし、第2段以降の前記光路切替機構の熱レンズ形成素子が吸収する各々の波長が長くなる順に後段の光路切替機構を連結することを特徴とする請求項3に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【請求項 1 6】

複数の波長の光の内、最も長い波長の光を信号光とし、信号光よりも短い2つ以上の波長の光を制御光とし、前記光路切替機構中の熱レンズ形成素子が吸収する波長が最も短い光路切替機構を第1段とし、第2段以降の前記光路切替機構の熱レンズ形成素子が吸収する各々の波長が長くなる順に後段の光路切替機構を連結することを特徴とする請求項4に記載の光制御式光路切替型光信号伝送装置。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、光通信分野および光情報処理分野で用いられる光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

インターネットおよび会社内・家庭内イントラネットの普及にともなうネットワークラフィックの爆発的増加に対応するため、電気信号を経由しない光路切替装置（光スイッチ）、すなわち、光—光直接スイッチが求められている。光ファイバー、光導波路、あるいは、空間を伝搬する光の進む道筋、すなわち、光路を切り替える装置・方法としては、例えば、光導波路内または光導波路間で光路を切り替える空間分割型、多重化された複数の波長の光を波長に応じた光路へ分割して切り替える波長分割多重型、一定時間毎に時分割多重化された光の光路を切り替える時分割多重型、空間を伝搬する光の光路を鏡やシャッターなどを用いて空間的に分割・合成するフリースペース型などの方式が知られている。これらの方式は、各々多重化することも複数を組み合わせて使用することもできる。

【0 0 0 3】

空間分割型光スイッチには、方向性結合器を利用するもの、光分岐器で光信号のコピーを作り、ゲート素子により光をオン・オフするもの、交差または Y 分岐の交差部分で導波路の屈折率を変化させることで、導波路を伝搬してきた光を透過させたり反射させたりするものなどが提案されているが、まだ研究開発段階である。マッハツェンダー干渉計型光導波路スイッチの導波路の屈折率を変化させるために、電気ヒーター加熱による熱光学効果を用いるものが実用化に近づいているといわれているが、応答速度が 1 ミリ秒程度と遅いだけでなく、光スイッチを動作させるために電気信号を用いなければならない、という欠点を有する。

【0 0 0 4】

フリースペース型光スイッチには、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム (Micro Electro Mechanical System; MEMS と略記される)、励起子吸収・反射スイッチ (Exciton Absorption Reflection Switch; EARS スwitch と略記される)、多段ビームシフタ型光スイッチ、ホログラム型光スイッチ、液晶スイッチなどが検討されている。これらは、機械的可動部分がある、偏波依存性があるなどの課題があり、まだ充分実用段階にあるとはいえない。

【0 0 0 5】

一方、光学素子に光を照射することで引き起こされる透過率変化や屈折率変化を利用し、直接、光で光の強度や周波数を変調する、全光型光学素子や光制御方式の研究が盛んに行われている。本発明者らは、全光型光学素子等による新たな情報処理技術の開発を目指して、有機色素凝集体をポリマーマトリックスに分散した有機ナノパーティクル光熱レンズ形成素子（非特許文献 1 参照）を用いて、光制御方式の研究を行って来た。現在、制御光（633 nm）により信号光（780 nm）の変調を行う方式で、制御光と信号光を同軸・同焦点入射させることを特徴とし、制御光の吸収により過渡的に形成される熱レンズにより信号光が屈折されるという動作原理の素子を開発しており、約 20 ナノ秒の高速応答が達成されている。光応答性組成物からなる光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に変化させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法であって、前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点の近傍（ビームウエスト）の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路を調整することを特徴とする光制御方法が開示されている（特許文献 1 から特許文献 7 参照）。光応答性組成物からなる光学素子に、互いに波長の異なる制御光お

よび信号光を照射し、前記制御光の波長は前記光応答性組成物が吸収する波長帯域から選ばれるものとし、前記光応答性組成物が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に発生する温度上昇に起因する密度変化の分布に基づいた熱レンズを可逆的に形成させ、前記熱レンズを透過する信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法が開示されている（特許文献8参照）。そして、上記光学素子として例えば色素／樹脂膜や色素溶液膜が用いられ、制御光のパワー2ないし25 mWにおける制御光照射に対する信号光の応答時間は、2マイクロ秒未満と記載されている（特許文献8参照）。

#### 【0006】

ここで熱レンズ効果とは、光吸収の中心部分において光を吸収した分子などが光を熱に変換し、この熱が周囲に伝搬されることにより温度分布が生じ、その結果、光透過媒体の屈折率が光吸収中心から外部へ向けて球状に変化して光吸収中心の屈折率が低く外部へ向けて屈折率が高くなる分布を生じ、これが凹レンズのように機能するような光の屈折効果を示す。熱レンズ効果は分光分析の分野で古くから利用されており、現在では分子1個による光吸収をも検出するような超高感度分光分析も可能になっている（非特許文献2および非特許文献3参照）。

#### 【0007】

熱レンズ効果ないし熱による屈折率変化を用いて光路を偏向させる方式として、発熱抵抗体で媒体に熱を与え、媒体内に屈折率分布を生じさせ、光を偏向する方法が開示されている（特許文献9参照）。しかしながら、上述の手法は、発熱抵抗体で発熱させ、熱伝導で媒体を加熱することになるので、「熱の拡がり」という問題を本来的に有する。つまり、熱の拡がりにより、広い面積内で微細な熱勾配を与えることができず、所望の屈折率分布を得るのが困難である。更に、発熱抵抗体の微細加工は半導体集積回路で用いられているフォトリソグラフィ技術を採用しても、現実には一定の限界を有し、素子が大型化せざるを得ない。素子が大型化すれば、それにともない光学系も複雑かつ大型化する。また、発熱抵抗体で発熱させ、熱伝導で媒体を加熱することになるので、応答が遅く、屈折率変化の周波数を上げることができないという不具合を本質的な問題として有している。

#### 【0008】

また、光応答組成物からなる光学素子と、該光学素子にくさび形の光強度分布で光を照射するための強度分布調整手段とから少なくとも構成され、制御光により前記光学素子中に屈折率分布を形成し、該屈折率分布により前記制御光とは異なる波長の信号光の偏向を行うことを特徴とする光学素子を用いた偏向素子が開示されている（特許文献10参照）。この方式は、光で光を制御する点では優れたものであるが、偏向角度が30度以内という制約があり、光路切替方向を自由に設定することができないという問題がある。

#### 【0009】

そこで本発明者らは、偏波依存性のない、光路切替の角度および方向を自由に設定可能な、信号光の光強度減衰が少なく多重連結使用が可能な光路切替装置および光路切替方法を提供するため、少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光、および、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光を各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、前記信号光が通過する穴を設けた鏡の穴を通して直進させ、一方、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記

信号光をそのまま、あるいは、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーを用いて反射することによって光路を変更させる光路切替方法を出願した（特許文献11参照）。

【0010】

【特許文献1】特開平8-286220号公報

【特許文献2】特開平8-320535号公報

【特許文献3】特開平8-320536号公報

【特許文献4】特開平9-329816号公報

【特許文献5】特開平10-90733号公報

【特許文献6】特開平10-90734号公報

【特許文献7】特開平10-148852号公報

【特許文献8】特開平10-148853号公報

【特許文献9】特開昭60-14221号公報

【特許文献10】特開平11-194373号公報

【特許文献11】特願2002-275713号

【非特許文献1】平賀隆、田中教雄、早水紀久子、守谷哲郎著、色素会合体・凝集体の作成・構造評価・光物性、「電子技術総合研究所彙報」、通商産業省工業技術院電子技術総合研究所発行、第59巻、第2号、29-49頁（1994年）

【非特許文献2】藤原祺多夫、不破敬一郎、小林孝嘉著、レーザー誘起熱レンズ効果とその比色法への応用、「化学」、化学同人発行、第36巻、第6号、432-438頁（1981年）

【非特許文献3】北森武彦、澤田嗣郎著、光熱変換分光分析法、「ぶんせき」、日本分析化学会発行、1994年3月号、178-187頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は、電気回路や機械的可動部分を用いずに故障のない、高速で作動し、耐久性の高い、偏波依存性のない、光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の目的を達成するため、本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、1種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、

前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源と、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜と、

前記光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射する、または、信号光の開き角度を可変させて出射する2つ以上の熱レンズ形成素子と、

前記各熱レンズ形成素子の各々後方に設けられた、穴と反射手段とを有する鏡であって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子を出射した信号光を前記穴に通過させ、または、前記反射手段により反射させることによって光路を変化させる鏡と、を備えることを特徴とする。

【0013】

また、本発明の他の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、1種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、

前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源と、  
前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、  
前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

熱レンズ形成素子と穴を有する鏡の組み合わせからなる 2 組以上の光路切替機構と、を備え、

前記熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

前記穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合に、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、前記受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、反射する反射手段と、を有し光路を変更させる鏡であることを特徴とする。

#### 【0014】

また、本発明の他の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、1 種類以上の波長の信号光を照射する信号光光源と、

前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を照射する制御光光源と、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、

前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

熱レンズ形成素子と穴を有する鏡の組み合わせからなる 2 組以上の光路切替機構と、を備え、

前記熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま出射され、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

前記穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合に、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、前記開き角度を変更させるために設けられた受光レンズを透過させた信号光のいずれかを反射させる反射手段と、を有し光路を変更させる鏡であることを特徴とする。

#### 【0015】

また、本発明の他の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、1 種類以上の波長の信号光

を照射する信号光光源と、

前記信号光とは異なる 2 種類以上の波長の制御光を制御する制御光光源と、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の 1 種類の波長のみを各々選択的に吸収する 2 つ以上の光吸収層膜と、

前記光吸収層膜の 1 つ 1 つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射する手段と、

第 1 の熱レンズ形成素子と第 1 の穴を有する鏡との組み合わせからなる 1 組以上の第 1 の光路切替機構と、

第 2 の熱レンズ形成素子と第 2 の穴を有する鏡との組み合わせからなる 1 組以上の第 2 の光路切替機構と、を備え、

第 1 の熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

第 1 の穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合に、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、前記受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、反射する反射手段と、を有し光路を変更させる鏡であり、

第 2 の熱レンズ形成素子は、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記特定の 1 種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させる熱レンズ形成素子であり、

第 2 の穴を有する鏡は、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合に、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を通過させる穴と、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合に、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、前記開き角度を変更させるために設けられた受光レンズを透過させた信号光のいずれかを反射させる反射手段と、を有し光路を変更させる鏡である光制御式光路切替型光信号伝送装置。

#### 【0016】

また、本発明の他の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、2 組以上の上述の光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、直列に連結されていることを特徴とする。

#### 【0017】

また、本発明の他の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、3 組以上の上述の光路切替機構が、空間を介して直接、または、光ファイバー結合系を介して、連結の 1 段毎に前記鏡の穴を通して直進する方向と反射する方向の 2 方向に分岐し、多段に連結されていることを特徴とする。

## 【0018】

また、本発明の光信号光路切替方法は、

1種類以上の波長の信号光と、前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む2つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じ、前記収束された信号光を収束させたまま出射させ、または、信号光の開き角度を可変させて出射させ、

反射面を有する穴付ミラーを用い、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて、前記熱レンズ形成素子から出射した信号光を前記穴から通過直進させ、または、反射面で反射させることによって光路を変更させることを特徴とする。

## 【0019】

また、本発明の他の光信号光路切替方法は、

1種類以上の波長の信号光と、前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む2つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させ、

前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、穴付ミラーの穴に通過させ直進させ、

一方、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の入射面近傍に熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、あるいは、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射することによって光路を変更させることを特徴とする。

## 【0020】

また、本発明の他の光信号光路切替方法は、

1種類以上の波長の信号光と、前記信号光とは異なる2種類以上の波長の制御光とを、実質的に同軸かつ同方向に進行させ、

前記信号光は透過し、前記制御光の特定の1種類の波長のみを各々選択的に吸収する2つ以上の光吸収層膜の1つ1つに前記制御光と前記信号光とを各々収束させて照射し、

前記光吸収層膜を含む2つ以上の熱レンズ形成素子の個々において、前記光吸収層膜が前記特定の1種類の波長の制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の1種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束さ

れた信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射され、前記特定の 1 種類の波長の制御光の照射の有無に応じて出射される前記信号光の開き角度を変更させ、

前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されて前記光吸収層膜の出射面近傍に熱レンズが形成される場合は、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を、穴付ミラーの穴に通過させ直進させ、

一方、前記特定の 1 種類の波長の制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光の光路をそのまま、または、受光レンズによって前記開き角度を変更させた信号光のいずれかを、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射させることによって光路を変更させることを特徴とする。

#### 【0 0 2 1】

また、本発明の他の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、

複数の波長の光の内、最も長い波長の光を信号光とし、信号光よりも短い 2 つ以上の波長の光を制御光とし、前記光路切替機構中の熱レンズ形成素子が吸収する波長が最も短い光路切替機構を第 1 段とし、第 2 段以降の前記光路切替機構の熱レンズ形成素子が吸収する各々の波長が長くなる順に後段の光路切替機構を連結することを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0 0 2 2】

本発明によって、電気回路や機械的可動部分を用いずに、高速で作動し、耐久性の高い、偏波依存性のない、光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法を提供することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0 0 2 3】

##### 〔熱レンズ形成素子〕

本発明において、熱レンズ形成素子としては例えば積層膜型構造を有するものを好適に用いることができ、その積層膜の構成としては例えば以下のような組み合わせを挙げることができる。

#### 【0 0 2 4】

(1) 光吸収層膜単独。ただし、光吸収層膜は、文字通り「光吸収膜」単独の単層膜、あるいは、「光吸収膜／熱レンズ形成層」という 2 層構造、または、「光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜」という 3 層構造の積層型薄膜のいずれであっても良い。なお、以下の (2) から (10) の「光吸収層膜」も上記同様の構造を含むものとする。

#### 【0 0 2 5】

(2) 光吸収層膜／保温層膜

#### 【0 0 2 6】

(3) 保温層膜／光吸収層膜／保温層膜

#### 【0 0 2 7】

(4) 光吸収層膜／伝熱層膜

#### 【0 0 2 8】

(5) 伝熱層膜／光吸収層膜／伝熱層膜

#### 【0 0 2 9】

(6) 光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

#### 【0 0 3 0】

(7) 伝熱層膜／光吸収層膜／保温層膜

#### 【0 0 3 1】

(8) 伝熱層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

#### 【0 0 3 2】

(9) 伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜

#### 【0 0 3 3】

(10) 伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

#### 【0 0 3 4】



(11) 屈折率分布型レンズ／(光透過層／) 上記(1) ないし(10) の熱レンズ形成素子

【0035】

(12) 屈折率分布型レンズ／(光透過層／) 上記(1) ないし(10) の熱レンズ形成素子／(光透過層／) 屈折率分布型レンズ

【0036】

なお、上記「(光透過層／)」とは、必要に応じて光透過層を設けることを意味する。更に、必要に応じて光の入射面および出射面に反射防止膜(ARコート膜)を設けても良い。

【0037】

熱レンズ形成素子構成の一例を例示した断面図を図11に示す。図11に例示するように、熱レンズ形成素子500は、制御光509および信号光508の入射側から、例えば、屈折率分布型レンズ507／光透過層506／伝熱層膜501／光吸収層膜503／熱レンズ形成層505／光吸収層膜504／伝熱層膜502の順に積層されてなる。なお、図11に示す制御光509の光線は模式的なものであり、各層膜間における屈折を省略している。

【0038】

熱レンズ形成素子構成の別の一例を例示した断面図を図12に示す。図12に例示するように、熱レンズ形成素子600は、制御光609および信号光608の入射側から、例えば、伝熱層膜601／光吸収層膜603／熱レンズ形成層605／光吸収層膜604／伝熱層膜602の順に積層されてなる。この場合、制御光609および信号光608は外部に設けた集光レンズ610によって集光されつつ、熱レンズ形成素子600に入射する。なお、図12に示す制御光609の光線は模式的なものであり、各層膜間における屈折を省略している。

【0039】

更にまた、色素溶液充填式熱レンズ形成素子を例示した模式図を図21に示す。図21に例示するように、色素溶液充填式熱レンズ形成素子800は、伝熱層膜として作用する入射・出射面ガラス801および802、側面ガラス803および804、底面ガラス805に囲まれた光学セル809の色素溶液充填部808へ、導入管806の導入口807から光吸収層膜兼熱レンズ形成層として作用する色素溶液を充填し、導入口807を封じたものである。すなわち、伝熱層膜／光吸収層膜兼熱レンズ形成層／伝熱層膜という単純な素子構成のものである。

【0040】

光吸収層膜、熱レンズ形成層、保温層膜、伝熱層膜、光透過層、および屈折率分布型レンズの材料、作成方法、各々の膜厚などについて、以下に、順を追って説明する。

【0041】

なお、本発明で用いられる光吸収層膜、熱レンズ形成層、保温層膜、伝熱層膜、光透過層、および屈折率分布型レンズの材料は、その機能に支障をきたさない範囲において、加工性を向上させたり、光学素子としての安定性・耐久性を向上させたりするため、添加物として公知の酸化防止剤、紫外線吸収剤、一重項酸素クエンチャー、分散助剤などを含有しても良い。

【0042】

[光吸収層膜の材料]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性の材料としては、公知の種々のものを使用することができる。

【0043】

本発明で用いられる熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性材料の例を具体的に挙げるならば、例えば、GaAs、GaAsP、GaAlAs、InP、InSb、InAs、PbTe、InGaAsP、ZnSeなどの化合物半導体の単結晶、前記化合物半導体の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、異種金属イオンをドープし

た金属ハロゲン化物（例えば、臭化カリウム、塩化ナトリウムなど）の単結晶、前記金属ハロゲン化物（例えば、臭化銅、塩化銅、塩化コバルトなど）の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、銅などの異種金属イオンをドープしたCdS、CdSe、CdSeS、CdSeTeなどのカドミウムカルコゲナイドの単結晶、前記カドミウムカルコゲナイドの微粒子をマトリックス材料中に分散したもの、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体単結晶薄膜、多結晶薄膜ないし多孔質薄膜、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、ルビー、アレキサンドライト、ガーネット、Nd:YAG、サファイア、Ti:サファイア、Nd:YLFなど、金属イオンをドープした宝石に相当する単結晶（いわゆるレーザー結晶）、金属イオン（例えば、鉄イオン）をドープしたニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）、 $\text{LiB}_3\text{O}_5$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KTiOPO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{BaB}_2\text{O}_2$ などの強誘電性結晶、金属イオン（例えば、ネオジウムイオン、エルビウムイオンなど）をドープした石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラス、その他のガラスなどのほか、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したもの、および、非晶質の色素凝集体を好適に使用することができる。

#### 【0044】

これらの中でも、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものは、マトリックス材料および色素の選択範囲が広く、かつ熱レンズ形成素子への加工も容易であるため、特に好適に用いることができる。

#### 【0045】

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いることができる色素の具体例としては、例えば、ローダミンB、ローダミン6G、エオシン、フロキシシンBなどのキサンテン系色素、アクリジンオレンジ、アクリジンレッドなどのアクリジン系色素、エチルレッド、メチルレッドなどのアゾ色素、ポルフィリン系色素、フタロシアニン系色素、ナフタロシアニン系色素、3, 3'-ジエチルチアカルボシアニンヨージド、3, 3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨージドなどのシアニン色素、エチル・バイオレット、ピクトリア・ブルーRなどのトリアリールメタン系色素、ナフトキノ系色素、アントラキノ系色素、ナフタレンテトラカルボン酸ジイミド系色素、ペリレンテトラカルボン酸ジイミド系色素などを好適に使用することができる。

#### 【0046】

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法では、これらの色素を単独で、または、2種以上を混合して使用することができる。

#### 【0047】

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いることのできるマトリックス材料は、

(1) 本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いられる光の波長領域で透過率が高いこと、

(2) 本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いられる色素または種々の微粒子を安定性良く溶解または分散できること、という条件を満足するものであれば任意のものを使用することができる。

#### 【0048】

無機系固体状のマトリックス材料としては、例えば金属ハロゲン化物の単結晶、金属酸化物の単結晶、金属カルコゲナイドの単結晶、石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの他、いわゆるゾルゲル法で作成された低融点ガラス材料などを使用することができる。

#### 【0049】

無機系液体状のマトリックス材料としては、水、水ガラス（アルカリケイ酸塩の濃厚水溶液）、塩酸、硫酸、硝酸、王水、クロルスルホン酸、メタンスルホン酸、トリフルオロメタンスルホン酸、などを使用することができる。

#### 【0050】

また、有機系液体状のマトリックス材料として、例えば種々の有機溶剤を使用することができる。有機溶剤としては、具体的には、メタノール、エタノール、イソプロピルアルコール、*n*-ブタノール、アミルアルコール、シクロヘキサノール、ベンジルアルコールなどのアルコール類、エチレングリコール、ジエチレングリコール、グリセリンなどの多価アルコール類、酢酸エチル、酢酸*n*-ブチル、酢酸アミル、酢酸イソプロピルなどのエステル類、アセトン、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、シクロヘキサノンなどのケトン類、ジエチルエーテル、ジブチルエーテル、メトキシエタノール、エトキシエタノール、ブトキシエタノール、カルビトールなどのエーテル類、テトラヒドロフラン、1,4-ジオキサン、1,3-ジオキソラン、などの環状エーテル類、ジクロロメタン、クロロホルム、四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、トリクレン、ブromoホルム、ジブromoメタン、ジヨードメタン、などのハロゲン化炭化水素類、ベンゼン、トルエン、キシレン、クロロベンゼン、*o*-ジクロロベンゼン、ニトロベンゼン、アニソール、 $\alpha$ -クロロナフタレンなどの芳香族炭化水素類、*n*-ペンタン、*n*-ヘキサン、*n*-ヘプタン、シクロヘキサンなどの脂肪族炭化水素類、*N,N*-ジメチルホルムアミド、*N,N*-ジメチルアセトアミド、ヘキサメチルホスホリクトリアミドなどのアミド類、*N*-メチルピロリドンなどの環状アミド類、テトラメチル尿素、1,3-ジメチル-2-イミダゾリジノンなどの尿素誘導體類、ジメチルスルホキシドなどのスルホキシド類、炭酸エチレン、炭酸プロピレンなどの炭酸エステル類、アセトニトリル、プロピオニトリル、ベンゾニトリルなどのニトリル類、ピリジン、キノリンなどの含窒素複素環化合物類、トリエチルアミン、トリエタノールアミン、ジエチルアミノアルコール、アニリンなどのアミン類、クロル酢酸、トリクロル酢酸、トリフルオロ酢酸、酢酸などの有機酸の他、ニトロメタン、二硫化炭素、スルホランなどの溶剤を用いることができる。これらの溶剤は、また、複数の種類のものを混合して用いても良い。

#### 【0051】

更に、有機系のマトリックス材料として、液体状、固体状、ガラス状またはゴム状の有機高分子材料を使用することができる。その具体例としては、ポリスチレン、ポリ( $\alpha$ -メチルスチレン)、ポリインデン、ポリ(4-メチル-1-ペンテン)、ポリビニルピリジン、ポリビニルホルマール、ポリビニルアセタール、ポリビニルブチラール、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルアルコール、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルメチルエーテル、ポリビニルエチルエーテル、ポリビニルベンジルエーテル、ポリビニルメチルケトン、ポリ(*N*-ビニルカルバゾール)、ポリ(*N*-ビニルピロリドン)、ポリアクリル酸メチル、ポリアクリル酸エチル、ポリアクリル酸、ポリアクリロニトリル、ポリメタクリル酸メチル、ポリメタクリル酸エチル、ポリメタクリル酸ブチル、ポリメタクリル酸ベンジル、ポリメタクリル酸シクロヘキシル、ポリメタクリル酸、ポリメタクリル酸アミド、ポリメタクリロニトリル、ポリアセトアルデヒド、ポリクロラール、ポリエチレンオキシド、ポリプロピレンオキシド、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート、ポリカーボネート類(ビスフェノール類+炭酸)、ポリ(ジエチレングリコール・ビスアリルカーボネイト)類、6-ナイロン、6,6-ナイロン、12-ナイロン、6,12-ナイロン、ポリアスパラギン酸エチル、ポリグルタミン酸エチル、ポリリジン、ポリプロリン、ポリ( $\gamma$ -ベンジル-L-グルタメート)、メチルセルロース、エチルセルロース、ベンジルセルロース、ヒドロキシエチルセルロース、ヒドロキシプロピルセルロース、アセチルセルロース、セルローストリアセテート、セルローストリブチレート、アルキド樹脂(無水フタル酸+グリセリン)、脂肪酸変性アルキド樹脂(脂肪酸+無水フタル酸+グリセリン)、不飽和ポリエステル樹脂(無水マレイン酸+無水フタル酸+プロピレングリコール)、エポキシ樹脂(ビスフェノール類+エピクロロヒドリン)、ポリウレタン樹脂、フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂、キシレン樹脂、トルエン樹脂、グアナミン樹脂などの樹脂、ポリ(フェニルメチルシラン)などの有機ポリシラン、有機ポリゲルマンおよびこれらの共重合・共重縮合体が挙げられる。また、二硫化炭素、四フッ化炭素、エチルベンゼン、パーフルオロベンゼン、パーフルオロシクロヘキサンまたはトリメチルクロロシラン等、通常では重合性のない化合物をプラズマ重合して得た高分

子化合物などを使用することができる。更に、これらの有機高分子化合物に色素の残基をモノマー単位の側鎖として、もしくは架橋基として、共重合モノマー単位として、または重合開始末端として結合させたものをマトリックス材料として使用することもできる。更に、前記の色素残基とマトリックス材料が化学結合を形成していても良い。

#### 【0052】

これらのマトリックス材料中へ色素を溶解または分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、色素とマトリックス材料を共通の溶媒中へ溶解して混合した後、溶媒を蒸発させて除去する方法、ゾルゲル法で製造する無機系マトリックス材料の原料溶液へ色素を溶解または分散させてからマトリックス材料を形成する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、色素を溶解または分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、色素と有機高分子系マトリックス材料を共通の溶媒中に溶解した溶液を、色素および熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の両方が不溶の溶剤中へ滴下し、生じた沈殿を濾別し乾燥してから加熱・溶融加工する方法などを好適に用いることができる。色素とマトリックス材料の組み合わせおよび加工方法を工夫することで、色素分子を凝集させ、「H会合体」や「J会合体」などと呼ばれる特殊な会合体を形成させられることが知られているが、マトリックス材料中の色素分子をこのような凝集状態もしくは会合状態を形成する条件で使用しても良い。

#### 【0053】

また、これらのマトリックス材料中へ前記の種々の微粒子を分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、前記微粒子をマトリックス材料の溶液、または、マトリックス材料の前駆体の溶液に分散した後、溶媒を除去する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、前記微粒子を分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、微粒子の前駆体として、例えば過塩素酸カドミウムや塩化金などの金属塩を有機高分子系マトリックス材料中へ溶解または分散した後、硫化水素ガスで処理して硫化カドミウムの微粒子を、または、熱処理することで金の微粒子を、それぞれマトリックス材料中に析出させる方法、化学的気相成長法、スパッタリング法などを好適に用いることができる。

#### 【0054】

色素を単独で、光散乱の少ない非晶質状態（アモルファス）の薄膜として存在させることができる場合は、マトリックス材料を用いずに、非晶質色素膜を光吸収層膜として用いることもできる。

#### 【0055】

また、色素を単独で、光散乱を起こさない微結晶凝集体として存在させることができる場合は、マトリックス材料を用いずに、色素の微結晶凝集体を光吸収層膜として用いることもできる。本発明で用いられる熱レンズ形成素子におけるように、光吸収層膜としての色素微結晶凝集体が、熱レンズ形成層（樹脂など）、伝熱層膜（ガラスなど）および／または保温層膜（樹脂など）と積層されて存在する場合、前記色素微小結晶の粒子径が前記信号光の波長と制御光の波長を比べて短い方の波長の $1/5$ を超えない大きさであれば、実質的に光散乱を起こさない。

#### 【0056】

[光吸収層膜の材料、信号光の波長帯域、および、制御光の波長帯域の組み合わせと順序]

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で使用される光吸収層膜の材料、信号光の波長帯域、および制御光の波長帯域は、これらの組み合わせとして、使用目的に応じて適切な組み合わせを選定し用いることができる。

#### 【0057】

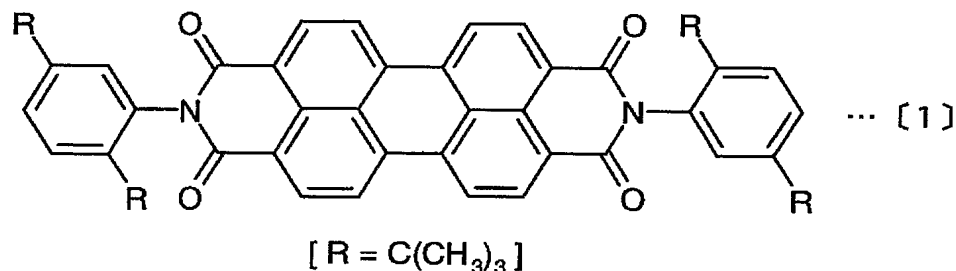
具体的な設定手順としては、例えば、まず、使用目的に応じて信号光の波長ないし波長帯域を決定し、これを制御するのに最適な光吸収層膜の材料と制御光の波長の組み合わせを選定すれば良い。または、使用目的に応じて信号光と制御光の波長の組み合わせを決定

してから、この組み合わせに適した光吸収層膜の材料を選定すれば良い。

【0058】

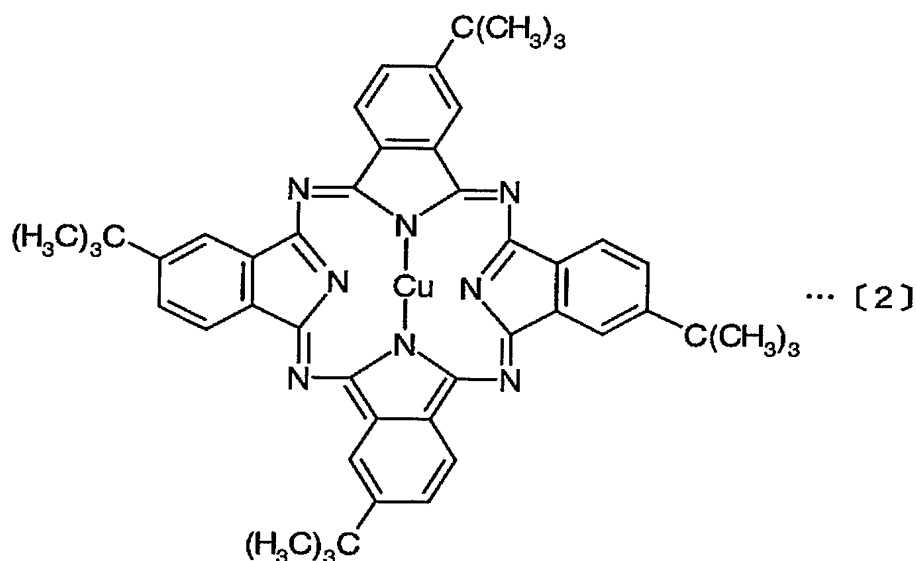
このような選定手順の具体例として、信号光としてギガヘルツオーダーで超高速変調可能な半導体レーザーから発振する波長 850 nm、1350 nm あるいは 1550 nm などの近赤外線を用い、これを、複数の可視光線波長帯域の制御光で光路切替するケースを以下に例示する。制御光の光源としてはサブミリ秒以下の応答速度で断続可能な連続 (CW) 発振方式のレーザーを好適に用いることができる。例えば、短波長側から、405 ないし 445 nm の青紫ないし青色半導体レーザー、半導体励起 Nd:YAG レーザーの波長 1064 nm を 2 次非線形光学素子で 532 nm の緑色に変換したもの、635 ないし 670 nm の赤色半導体レーザー、および、780 ないし 800 nm の近赤外線レーザーを選定し、好適に使用することができる。これらの制御光波長帯域に吸収を示し、850 nm ないし 1550 nm の近赤外線を吸収しない色素として、例えば、N, N'-ビス (2, 5-ジ-tert-ブチルフェニル) -3, 4, 9, 10-ペリレンジカルボキシイミド (N, N'-Bis(2,5-di-tert-butylphenyl)-3,4,9,10-perylenedicarboximide) [1]、

【化1】



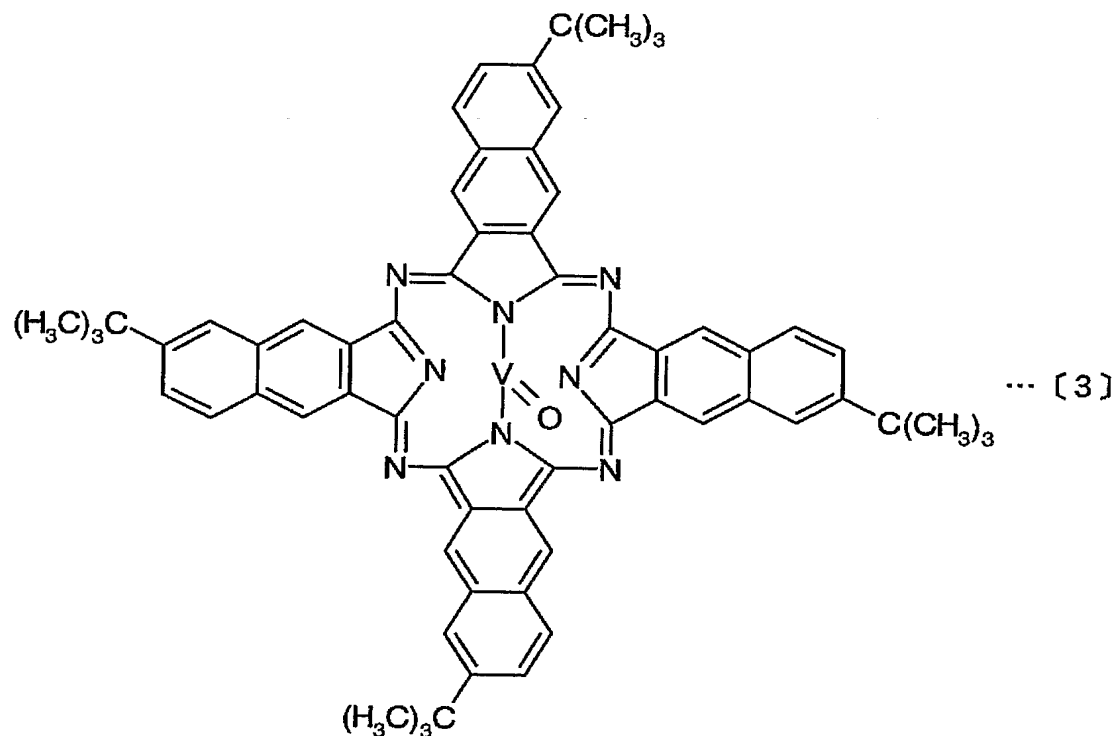
銅(II) 2, 9, 16, 23-テトラ-tert-ブチル-29H, 31H-フタロシアニン (Copper(II) 2,9,16,23-tetra-tert-butyl-29H,31H-phthalocyanine) [2]、

【化2】



バナジル 2, 11, 20, 29-テトラ-tert-ブチル-2, 3-ナフタロシアニン (Vanadyl 2,11,20,29-tetra-tert-butyl-2,3-naphthalocyanine) [3]、

## 【化 3】



などを2つ以上選定して、各々好適に使用することができる。これらの色素はいずれも耐光性および耐熱性が高く、本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法において熱レンズ形成のための光吸収層膜用の色素として特に好適である。色素〔1〕、〔2〕および〔3〕のテトラヒドロフラン溶液の透過率スペクトルを図22に各々実線、鎖線および一点鎖線で示す。図22には示していないが、これらの色素溶液は900ないし1550nmの近赤外線領域においても98%以上の透過率を示す。

## 【0059】

前記制御光レーザーの発振波長と、これら色素の透過率スペクトルとの関係を表1に示す。

## 【0060】

【表1】

透過率 [%]	色素番号	レーザー発振波長 [nm]							
		445	532	635	650	670	780	800	850
	〔1〕	3.59	0.10	97.08	97.36	97.33	97.67	97.15	98.64
	〔2〕	93.64	81.67	2.32	0.78	0.00	97.23	98.37	99.63
	〔3〕	52.19	89.90	88.72	81.56	73.35	9.06	0.12	89.00

## 【0061】

表1から判るように、色素〔1〕は波長445ないし532nmの制御光を吸収して熱レンズを形成するような熱レンズ形成素子の光吸収層膜の材料として好適である。同様に色素〔2〕は波長635ないし670nmに対応する光吸収層膜の材料として、また、色素〔3〕は波長780ないし800nmに対応する光吸収層膜の材料として好適である。これらの色素は前記溶剤に溶解させて光学セルへ充填し、または有機高分子材料中に溶解させて伝熱層膜に挟んで、あるいは、伝熱層膜上にスピンコート膜または蒸着膜として成膜して、使用することができる。

## 【0062】

これらの色素を2種類以上選択して使用する場合、各々の色素の吸収波長帯域に対応する熱レンズ形成素子を含む光路切替機構を、吸収波長帯域の短い方から順に連結して使用することが好ましい。すなわち、例えば、第1段目の光路切替機構に色素〔1〕、第2段目に色素〔2〕または〔3〕の2段構成、第1段目に色素〔1〕、第2段目に色素〔2〕、第3段目に色素〔3〕の3段構成として使用することで、各色素の吸収帯域と非吸収帯域を無駄なく重ねて利用することが可能である。

【0063】

〔光吸収層膜の材料の組成、光吸収層膜中の光吸収層膜の膜厚、および熱レンズ形成層の膜厚〕

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いられる熱レンズ形成素子において、光吸収層膜は、「光吸収膜」単独の単層膜、あるいは、「光吸収膜／熱レンズ形成層」という2層構造、または、「光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜」という3層構造の積層型薄膜のいずれであっても良く、光吸収層膜全体の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を超えないことが好ましい。更に、一層高速な応答速度を目指す場合は、前記積層型薄膜からなる光吸収層膜の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の1倍を超えないことが好ましい。

【0064】

このような条件の中で、本発明で用いられる光吸収層膜の材料の組成および光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚については、これらの組み合わせとして、光吸収層膜を透過する制御光および信号光の透過率を基準にして設定することができる。例えば、まず、光吸収層膜の材料の組成の内、少なくとも制御光あるいは信号光を吸収する成分の濃度を決定し、次いで、熱レンズ形成素子を透過する制御光および信号光の透過率が特定の値になるよう光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚を設定することができる。または、まず、例えば装置設計上の必要に応じて、光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚を特定の値に設定した後、熱レンズ形成素子を透過する制御光および信号光の透過率が特定の値になるよう光吸収層膜の材料の組成を調整することができる。

【0065】

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いられる熱レンズ形成素子から、できる限り低い光パワーで十分な大きさおよび高速度の熱レンズ効果を引き出すために最適な、光吸収層膜を透過する制御光および信号光の透過率の値は、それぞれ、次に示す通りである。

【0066】

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法で用いられる熱レンズ形成素子においては、熱レンズ形成素子中の光吸収層膜を伝播する制御光の透過率が90%ないし0%になるよう光吸収層膜中の光吸収成分の濃度および存在状態の制御、光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚設定を行うことが推奨される。

【0067】

一方、制御光を照射しない状態において、熱レンズ形成素子中の光吸収層膜を伝播する信号光の透過率が下限として10%以上、また、上限としては100%に限りなく近づくよう光吸収層膜中の光吸収成分の濃度および存在状態の制御、光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚設定を行うことが推奨される。

【0068】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層膜厚の下限は、以下に記載するように、熱レンズ形成層の材料に応じて選定される。

【0069】

〔光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料および熱レンズ形成層の膜厚〕

単層の光吸収膜そのものを、熱レンズ形成層として作用させても良いが、光吸収と熱レンズ形成の機能を別々の材料に分担させて、各々選択された最適の材料を積層して使用することもできる。

【0070】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料としては液体、液晶、および、固体の材料を用いることができる。特に、熱レンズ形成層が、非晶質の有機化合物、有機化合物液体、および液晶からなる群から選ばれる有機化合物からなると好適である。なお、熱レンズ形成層の材質が液晶および液体の場合、例えば、光吸収膜および／または伝熱層膜を自己形態保持性の材質で作成し、熱レンズ形成層の厚さに相当する空乏を設け、そこへ流動状態の熱レンズ形成層材料を注入することで、熱レンズ形成層を作成することができる。一方、熱レンズ形成層の材質が固体の場合は、熱レンズ形成層の片面または両面に光吸収膜を積層させて作成すれば良い。

#### 【0071】

熱レンズ形成層の材質は単一でなくとも良く、例えば、複数種類の固体の積層膜であっても良く、また、固体と液体を積層させたものであっても良い。

#### 【0072】

熱レンズ形成層の厚さは、用いる材料の種類にもよるが、数ナノメートルから1mmの範囲の厚さであれば良く、数十ナノメートルから数百 $\mu\text{m}$ の範囲であれば特に好適である。

#### 【0073】

前述のように、熱レンズ形成層と1または2枚の光吸収膜を積層してなる光吸収層膜の合計の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を超えないことが好ましい。

#### 【0074】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料としては液体、液晶、および、固体の材料を用いることができるが、いずれの場合も屈折率の温度依存性が大きい材料が好ましい。

#### 【0075】

代表的な有機化合物液体および水の屈折率温度依存性の物性値は文献 [D. Solimini: J. Appl. Phys., vol. 37, 3314 (1966)] に記載されている。波長633nmの光に対する屈折率の温度変化 [単位:  $1/K$ ] は、水 ( $0.8 \times 10^{-4}$ ) よりもメタノール ( $3.9 \times 10^{-4}$ ) などのアルコールが大きく、更に、シクロペンタン ( $5.7 \times 10^{-4}$ )、ベンゼン ( $6.4 \times 10^{-4}$ )、クロロホルム ( $5.8 \times 10^{-4}$ )、二硫化炭素 ( $7.7 \times 10^{-4}$ ) などの非水素結合性有機溶剤が大きい。

#### 【0076】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として液晶を用いる場合、液晶としては、公知の任意のものを使用することができる。具体的には、種々のコレステロール誘導体、4'-n-ブトキシベンジリデン-4-シアノアニリン、4'-n-ヘキシルベンジリデン-4-シアノアニリンなどの4'-アルコキシベンジリデン-4-シアノアニリン類、4'-エトキシベンジリデン-4-n-ブチルアニリン、4'-メトキシベンジリデンアミノアゾベンゼン、4-(4'-メトキシベンジリデン)アミノビフェニル、4-(4'-メトキシベンジリデン)アミノスチルベンなどの4'-アルコキシベンジリデンアニリン類、4'-シアノベンジリデン-4-n-ブチトキシアニリン、4'-シアノベンジリデン-4-n-ヘキシルオキシアニリンなどの4'-シアノベンジリデン-4-アルコキシアニリン類、4'-n-ブトキシカルボニルオキシベンジリデン-4-メトキシアニリン、p-カルボキシフェニル・n-アミルカーボネイト、n-ヘプチル・4-(4'-エトキシフェノキシカルボニル)フェニルカーボネイトなどの炭酸エステル類、4-n-ブチル安息香酸・4'-エトキシフェニル、4-n-ブチル安息香酸・4'-オクチルオキシフェニル、4-n-ペンチル安息香酸・4'-ヘキシルオキシフェニルなどの4-アルキル安息香酸・4'-アルコキシフェニルエステル類、4,4'-ジ-n-アミルオキシアゾキシベンゼン、4,4'-ジ-n-ニルオキシアゾキシベンゼンなどのアゾキシベンゼン誘導体、4-シアノ-4'-n-オクチルビフェニル、4-シアノ-4'-n-ドデシルビフェニルなどの4-シアノ-4'-アルキルビフェニル類などの液晶、および(2S,3S)-3-メチル-2-クロロペンタノイック酸・4',4''-オクチルオキシビフェニル、4'-(2-メチルブチル)ビフェニル-4-カルボン酸・4-ヘキシルオキシフェニル、4'-オクチルビフェニル-4-カルボン酸・4-(2-メチルブチル)フェニ



ルなどの強誘電性液晶を使用することができる。

#### 【0077】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として固体の材料を用いる場合は、光散乱が小さく屈折率の温度依存性の大きな、非晶質の有機化合物が特に好適である。具体的には、前記マトリックス材料と同様に、種々の有機高分子材料の中から光学用樹脂として公知のものを選定して使用することができる。文献[技術情報協会編、「最新光学用樹脂の開発、特性と高精度部品の設計、成形技術」、技術情報協会(1993)、P.35]に記載されている光学用樹脂の屈折率の温度変化[単位:  $1/K$ ]は、例えば、ポリ(メタクリル酸メチル)が  $1.2 \times 10^{-4}$ 、ポリカーボネートが  $1.4 \times 10^{-4}$ 、ポリスチレンが  $1.5 \times 10^{-4}$  である。これらの樹脂を光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として好適に使用することができる。

#### 【0078】

前記有機溶剤の屈折率温度依存性は前記光学用樹脂の場合よりも大きいというメリットがある反面、制御光照射による温度上昇が有機溶剤の沸点に到達すると沸騰してしまうという問題がある(高沸点の溶剤を用いる場合は問題ない)。これに対して、揮発性不純物を徹底的に除去した光学用樹脂は、例えばポリカーボネートの場合、制御光照射による温度上昇が  $250^\circ\text{C}$  を超えるような過酷な条件においても使用可能である。

#### 【0079】

##### [保温層膜]

保温層膜として気体を用いる場合は、空気、他、窒素、ヘリウム、ネオン、アルゴンなどの不活性ガスを好適に用いることができる。

#### 【0080】

保温層膜として液体を用いる場合は、熱伝導率が光吸収層膜と同等か光吸収層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜の材質を溶解または腐食しないものであれば、任意の液体を用いることができる。例えば、光吸収層膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、流動性パラフィンを用いることができる。

#### 【0081】

保温層膜として固体を用いる場合は、熱伝導率が光吸収層膜(光吸収膜および熱レンズ形成層)と同等か光吸収層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜や伝熱層膜の材質と反応しないものであれば、任意の固体を用いることができる。例えば、光吸収層膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、色素を含まないポリメタクリル酸メチル [ $300\text{K}$ における熱伝導率  $0.15\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ] を保温層膜として用いることができる。

#### 【0082】

##### [伝熱層膜の材料]

伝熱層膜としては、熱伝導率が光吸収層膜よりも大きい材質が好ましく、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜や保温層膜の材質と反応しないものであれば、任意のものを用いることができる。熱伝導率が高く、かつ、可視光線の波長帯域における光吸収が小さい材質として、例えば、ダイヤモンド [ $300\text{K}$ における熱伝導率  $900\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]、サファイア [同  $46\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]、石英単結晶 [c軸に平行方向で同  $10.4\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]、石英ガラス [同  $1.38\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]、硬質ガラス [同  $1.10\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]などを伝熱層膜として好適に用いることができる。

#### 【0083】

##### [光透過層の材料]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子は、図11に示すように、前記制御光の収束手段としての屈折率分布型レンズが、光透過層を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていても良いが、光透過層の材質としては、固体の保温層膜および/または伝熱層膜の材質と同様のものを使用することができる。光透過層は、文字通り、前記制御光および信号光を効率良く透過させるだけでなく、屈折率分布型レンズを熱レンズ形成素子構成要

素として接着するためのものである。いわゆる紫外線硬化型樹脂や電子線硬化型樹脂の内、前記制御光および信号光の波長帯域の光透過率の高いものを特に好適に用いることができる。

#### 【0084】

[熱レンズ形成素子の作成方法]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子の作成方法は、熱レンズ形成素子の構成および使用する材料の種類に応じて任意に選定され、公知の方法を用いることができる。

#### 【0085】

例えば、熱レンズ形成素子中の光吸収膜に用いられる光吸収性の材料が、前述のような単結晶の場合、単結晶の切削・研磨加工によって、光吸収膜を作成することができる。

#### 【0086】

例えば、色素を含有したマトリックス材料からなる光吸収膜、光学用樹脂からなる熱レンズ形成層、および光学ガラスを伝熱層膜として組み合わせて用いた「伝熱層膜／光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜／伝熱層膜」という構成の熱レンズ形成素子を作成する場合、以下に列举するような方法によって、まず、伝熱層膜上に光吸収膜を作成することができる。

#### 【0087】

色素およびマトリックス材料を溶解した溶液を、伝熱層膜として用いられるガラス板上に塗布法、ブレードコート法、ロールコート法、スピコート法、ディッピング法、スプレー法などの塗工法で塗工するか、あるいは、平版、凸版、凹版、孔版、スクリーン、転写などの印刷法で印刷して光吸収膜を形成する方法を用いても良い。この場合、光吸収膜の形成にゾルゲル法による無機系マトリックス材料作成方法を利用することもできる。

#### 【0088】

電着法、電解重合法、ミセル電解法（特開昭63-243298号公報）などの電気化学的成膜手法を用いることができる。

#### 【0089】

更に、水の上に形成させた単分子膜を移し取るラングミア・プロジェクト法を用いることができる。

#### 【0090】

原料モノマーの重合ないし重縮合反応を利用する方法として、例えば、モノマーが液体の場合、キャストイング法、リアクション・インジェクション・モールド法、プラズマ重合法、および、光重合法などが挙げられる。

#### 【0091】

昇華転写法、蒸着法、真空蒸着法、イオンビーム法、スパッタリング法、プラズマ重合法、CVD法、有機分子線蒸着法、などの方法を用いることもできる。

#### 【0092】

2成分以上の有機系光学材料を溶液または分散液状態で各成分毎に設けた噴霧ノズルから高真空容器内に噴霧して基板上に堆積させ、加熱処理することを特徴とする複合型光学薄膜の製造方法（特許公報第2599569号）を利用することもできる。

#### 【0093】

以上のような固体の光吸収膜の作成方法は、例えば、固体の有機高分子材料からなる保温層膜を作成する場合にも、好適に使用することができる。

#### 【0094】

次いで、熱可塑性の光学用樹脂を用いて熱レンズ形成層を作成する場合、真空ホットプレス法（特開平4-99609号公報）を用いて「伝熱層膜／光吸収膜／熱レンズ形成層／光吸収膜／伝熱層膜」という構成の熱レンズ形成素子を作成することができる。すなわち、熱可塑性光学用樹脂の粉末またはシートを、上記の方法で表面に光吸収膜を形成した2枚の伝熱層膜（ガラス板）で挟み、高真空下、加熱・プレスすることによって、上記構成の積層型薄膜素子を作成することができる。

#### 【0095】

## [屈折率分布型レンズの材料と作成方法]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子は、前記制御光の収束手段としての屈折率分布型レンズが、光透過層を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていても良いが、この屈折率分布型レンズの材料と作成方法としては、公知の、任意のものを使用することができる。

## 【0096】

例えば、モノマーの浸透・拡散現象を利用して、屈折率分布型の屈折率分布型レンズを有機高分子系材質で作成することができる [M.Oikawa, K. Iga, T. Sanada: Jpn. J. Appl. Phys., 20(1), L51-L54(1981)]。すなわち、モノマー交換技術によって、屈折率分布レンズを平坦な基板上にモノリシックに作ることができ、例えば、低屈折率プラスチックとしてのメタクリル酸メチル ( $n=1.494$ ) を、 $3.6\text{ mm } \phi$  の円形ディスクのマスクのまわりから、高屈折率をもつポリイソフタル酸ジアクリル ( $n=1.570$ ) の平坦なプラスチック基板中へ拡散させる。

## 【0097】

また、無機イオンの拡散現象を利用し、屈折率分布型の屈折率分布型レンズを無機ガラス系材質で作成することができる [M.Oikawa, K. Iga: Appl. Opt., 21(6), 1052-1056(1982)]。すなわち、ガラス基板にマスクを付けてからフォトリソグラフィの手法により直径  $100\text{ }\mu\text{m}$  前後の円形窓を設け、熔融塩に浸けてイオン交換により屈折率分布を形成させるに当たり、数時間に渡って電界を印加してイオン交換を促進させることによって、例えば、直径  $0.9\text{ mm}$ 、焦点距離  $2\text{ mm}$ 、開口数  $NA=0.23$  のレンズを形成させることができる。

## 【0098】

## [光学セル]

色素溶液充填式熱レンズ形成素子で用いられる光学セルは、色素溶液を保持する機能、および色素溶液に実効的に形態を付与し、光吸収層膜兼熱レンズ形成層として作用させる機能を有し、更に、収束されて照射される信号光および制御光を受光して前記光応答性組成物へ前記信号光および前記制御光を伝搬させる機能、および前記光応答性組成物を透過した後、発散していく前記信号光を伝搬させて出射する機能を有するものである。

## 【0099】

色素溶液充填式熱レンズ形成素子で用いられる光学セルの形態は外部形態と内部形態に大別される。

## 【0100】

光学セルの外部形態は、本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置の構成に応じて、板状、直方体状、円柱状、半円柱状、四角柱状、三角柱状、などの形状のものが用いられる。

## 【0101】

光学セルの内部形態とは、すなわち、色素溶液充填部の形態であり、色素溶液に、実効的に形態を付与するものである。本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置の構成に応じて、光学セルの内部形態は、具体的には、例えば、薄膜、厚膜、板状、直方体状、円柱状、半円柱状、四角柱状、三角柱状、凸レンズ状、凹レンズ状、などの中から適宜選択することができる。

## 【0102】

光学セルの構成および材質は、下記の要件を満たすものであれば任意のものを使用することができる。

## 【0103】

(1) 上記のような外部形態および内部形態を、使用条件において精密に維持できること。

## 【0104】

(2) 色素溶液に対して不活性であること。

## 【0105】

(3) 色素溶液を構成する諸成分の放散・透過・浸透による組成変化を防止できること。

【0106】

(4) 色素溶液が、酸素や水など使用環境に存在する気体あるいは液体と接触することによって劣化することを妨げることができること。

【0107】

光学セルの材質としては、具体的には、色素溶液の種類によらずソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの種々の光学ガラス、石英ガラス、サファイアなどを好適に使用することができる。また、色素溶液の溶剤が水やアルコール系である場合、ポリ（メタクリル酸メチル）、ポリスチレン、ポリカーボネートなどのプラスチックを用いることもできる。

【0108】

なお、上記要件の内、色素溶液の組成変化や劣化を防止する機能は、熱レンズ形成素子としての設計寿命の範囲内に限り発揮できれば良い。

【0109】

本発明で用いられる他の光学要素、すなわち、集光レンズ、受光レンズ、波長選択透過フィルターなどを前記光学セルに組み込んだ一体構造の光学セルを用いることができる。

【0110】

[ビームウエスト直径の計算]

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法において熱レンズ効果を有効に利用するためには、焦点（集光点）近傍の光子密度が最も高い領域、すなわち「ビームウエスト」における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。

【0111】

以下、進行方向ビーム断面の電場の振幅分布、すなわち光束のエネルギー分布がガウス分布となっているガウスビームの場合について述べる。なお、以下の説明では、ビーム収束手段として集光レンズ（屈折率分布型レンズ）を用いる場合について説明するが、収束手段が凹面鏡や屈折率分散型レンズであっても同様である。

【0112】

ガウスビームを、図1などの集光レンズ31などで、開き角 $2\theta$ で収束させたときの焦点301近傍における光線束および波面300の様子を図14に示す。ここで、波長 $\lambda$ のガウスビームの直径 $2\omega$ が最小になる位置を「ビームウエスト」という。以下、ビームウエスト直径を $2\omega_0$ で表すものとする。光の回折作用のため、 $2\omega_0$ はゼロにはならず、有限の値をもつ。なお、ビーム半径 $\omega$ や $\omega_0$ の定義は、ガウスビームのビーム中心部分のエネルギーを基準として、エネルギーが $1/e^2$ （ $e$ は自然対数の底）になる位置をビーム中心から測ったときの距離であり、ビーム直径は $2\omega$ または $2\omega_0$ で表される。いうまでもなく、ビームウエストの中心において、光子密度は最も高い。

【0113】

ガウスビームの場合、ビームウエストから十分に遠方でのビーム拡がり角 $\theta$ は波長 $\lambda$ およびビームウエスト径 $\omega_0$ と、次の式〔4〕で関係付けられる。

【0114】

(数1)

$$\pi \cdot \theta \cdot \omega_0 \quad \simeq \quad \lambda \quad \cdots [4]$$

ここで、 $\pi$ は円周率である。

【0115】

「ビームウエストから十分に遠方」という条件を満たす場合に限りこの式を用いて、集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ 、集光レンズの開口数および焦点距離から、集光レンズで集光されたビームウエスト径 $\omega_0$ を計算することができる。

【0116】

更に一般的に、有効開口半径 $a$ および開口数 $NA$ の集光レンズで、ビーム半径 $\omega$ の平行ガウスビーム（波長 $\lambda$ ）を収束させた場合のビームウエスト直径 $2\omega_0$ は、次の式〔5〕

で表すことができる。

【0117】

(数2)

$$2\omega_0 \doteq k \cdot \lambda / NA \quad \dots [5]$$

ここで、係数 $k$ は代数的に解くことができないため、レンズ結像面での光強度分布についての数値解析計算を行うことによって決定することができる。

【0118】

集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ と集光レンズの有効開口半径 $a$ の比率を変えて、数値解析計算を行うと、式[5]の係数 $k$ の値は以下のように求まる。

【0119】

(数3)

$$\begin{array}{ll} a/\omega = 1 \text{ のとき} & k \doteq 0.92 \\ a/\omega = 2 \text{ のとき} & k \doteq 1.3 \\ a/\omega = 3 \text{ のとき} & k \doteq 1.9 \\ a/\omega = 4 \text{ のとき} & k \doteq 3 \end{array}$$

【0120】

すなわち、集光レンズの有効開口半径 $a$ よりもビーム半径 $\omega$ が小さければ小さい程、ビームウエスト径 $\omega_0$ は大きくなる。

【0121】

例えば、集光レンズとして開口数0.25、有効開口半径約5mmのレンズを用い、波長780nmの信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ が5mmであれば $a/\omega$ は約1で、ビームウエストの半径 $\omega_0$ は1.4 $\mu$ m、 $\omega$ が1.25mmであれば $a/\omega$ は約4で $\omega_0$ は4.7 $\mu$ mと計算される。同様にして波長633nmの制御光を収束したとき、ビーム半径 $\omega$ が5mmであれば $a/\omega$ は約1で、ビームウエストの半径 $\omega_0$ は1.2 $\mu$ m、 $\omega$ が1.25mmであれば $a/\omega$ は約4で $\omega_0$ は3.8 $\mu$ mと計算される。

【0122】

この計算例から明らかなように、集光レンズの焦点近傍の光子密度が最も高い領域、すなわちビームウエストにおける光ビームの断面積を最小にするには、集光レンズに入射する光ビームの強度分布が平面波に近くなるまで、ビーム直径を拡大(ビームエキスパンド)すれば良い。また、集光レンズへ入射するビーム直径が同一の場合、光の波長が短い程、ビームウエスト径は小さくなることも判る。

【0123】

前述のように、本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法において熱レンズ効果を有効に利用するためには、ビームウエスト近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。信号光および制御光ともにガウスビームを用いる場合であれば、以上の説明および計算式にしたがって、集光レンズなどの収束手段で収束する前の平行ビームの状態、波長に応じて、信号光および制御光のビーム直径を、必要に応じてビームエキスパンドするなどして、調節することによって、ビームウエスト近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないようにすることができる。ビームエキスパンドの手段としては、公知のもの、例えば2枚の凸レンズからなるケプラー型の光学系を用いることができる。

【0124】

[共焦点距離 $Z_c$ の計算]

一般に、ガウスビームの場合、凸レンズなどの収束手段で収束された光束のビームウエスト近傍、すなわち、焦点を挟んで共焦点距離 $Z_c$ の区間においては、収束ビームはほぼ平行光と見なすことができ、共焦点距離 $Z_c$ は、円周率 $\pi$ 、ビームウエスト半径 $\omega_0$ およ

び波長 $\lambda$ を用いた式〔6〕で表すことができる。

【0125】

(数4)

$$Z_c = \pi \omega_0^2 / \lambda \quad \dots [6]$$

式〔6〕の $\omega_0$ に式〔5〕を代入すると、式〔7〕が得られる。

【0126】

(数5)

$$Z_c \doteq \pi (k/NA)^2 \lambda / 4 \quad \dots [7]$$

【0127】

例えば、集光レンズとして開口数0.25、有効開口半径約5mmのレンズを用い、波長780nmの信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ が5mmであれば $a/\omega$ は約1で、ビームウエストの半径 $\omega_0$ は1.4 $\mu$ m、共焦点距離 $Z_c$ は8.3 $\mu$ m、 $\omega$ が1.25mmであれば $a/\omega$ は約4で $\omega_0$ は4.7 $\mu$ m、共焦点距離 $Z_c$ は88 $\mu$ mと計算される。同様にして波長633nmの制御光を収束したとき、ビーム半径 $\omega$ が5mmであれば $a/\omega$ は約1で、ビームウエストの半径 $\omega_0$ は1.2 $\mu$ m、共焦点距離 $Z_c$ は6.7 $\mu$ m、 $\omega$ が1.25mmであれば $a/\omega$ は約4で $\omega_0$ は3.8 $\mu$ m、共焦点距離 $Z_c$ は71 $\mu$ mと計算される。

【0128】

[集光レンズおよび受光レンズの開口数]

本発明の光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法においては、信号光および制御光を同軸で集光レンズによって収束させて熱レンズ形成素子中に焦点を結ぶように照射しているが、熱レンズ形成素子から通常よりも大きい開き角度で出射する光を受光レンズで受光して平行光にコリメートする場合、この受光レンズの開口数（以下、NAと呼ぶ。）は、集光レンズのNAよりも大きくなるよう設定することが推奨される。更に受光レンズのNAは、集光レンズのNAの2倍以上が好ましい。ただし、集光レンズに入射するビーム半径 $\omega$ よりも集光レンズの有効開口半径 $a$ が大きい（すなわち $a/\omega > 1$ ）の場合は、集光レンズの実質的開口数は集光レンズの開口数よりも小さい。よって、受光レンズの開口数は、集光レンズ開口数ではなく集光レンズの実質的開口数よりも大きく、2倍以上に設定することが好ましい。受光レンズのNAを、集光レンズのNAの2倍以上とすることによって、信号光のビーム直径が熱レンズ形成素子へ入射する際の2倍以上まで拡大されても、損失なしに受光することが可能となる。

【0129】

[光吸収層膜の最適膜厚]

光吸収層膜を構成する1または2枚の光吸収膜の厚さを変えず、熱レンズ形成層の厚さを変えて試料を作製し、光学濃度一定で膜厚の異なる複数の熱レンズ形成素子について実験した結果、上記のようにして計算される共焦点距離 $Z_c$ の2倍を光吸収層膜の膜厚の上限としたとき、熱レンズ効果の光応答速度が充分高速になることが判った。

【0130】

光吸収層膜の膜厚の下限については、熱レンズ効果が発揮できる限りにおいて、薄ければ薄いほど好ましい。

【0131】

[保温層膜の膜厚]

保温層膜の膜厚には、光応答の大きさおよび／または速度を最大にするような最適値（下限値および上限値）が存在する。その値は熱レンズ形成素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層膜の材質、伝熱層膜の材質および厚さなどに応じて、実験的に決定することができる。例えば、伝熱層膜として通常のホウケイ酸ガラス、保温層膜および熱レンズ形成層の材質としてポリカーボネート、光吸収膜としてプラチナフタロシアニンの蒸着膜を用い、ガラス（伝熱層膜、膜厚150 $\mu$ m）／ポリカーボネート樹脂層（保温層）／プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚0.2 $\mu$ m）／ポリカーボネート樹脂層（熱レンズ形成層、膜厚20 $\mu$ m）／プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚

0.2  $\mu\text{m}$ ) / ポリカーボネート樹脂層 (保温層) / ガラス (伝熱層膜、膜厚 150  $\mu\text{m}$ ) という構成の熱レンズ形成素子を作成した場合、保温層膜の膜厚は好ましくは 5 nm から 5  $\mu\text{m}$  であり、更に好ましくは 50 nm から 500 nm である。

#### 【0132】

##### [伝熱層膜の膜厚]

伝熱層膜の膜厚にも、光応答の大きさおよび／または速度を最大にするような最適値 (この場合は下限値) が存在する。その値は熱レンズ形成素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層の材質および厚さ、伝熱層膜の材質などに応じて、実験的に決定することができる。例えば、伝熱層膜として通常のホウケイ酸ガラス、保温層膜および熱レンズ形成層の材質としてポリカーボネート、光吸収膜としてプラチナフタロシアニンの蒸着膜を用い、ガラス (伝熱層膜、膜厚 150  $\mu\text{m}$ ) / ポリカーボネート樹脂層 (保温層) / プラチナフタロシアニン蒸着膜 (光吸収膜、膜厚 0.2  $\mu\text{m}$ ) / ポリカーボネート樹脂層 (熱レンズ形成層、膜厚 20  $\mu\text{m}$ ) / プラチナフタロシアニン蒸着膜 (光吸収膜、膜厚 0.2  $\mu\text{m}$ ) / ポリカーボネート樹脂層 (保温層) / ガラス (伝熱層膜、膜厚 150  $\mu\text{m}$ ) という構成の熱レンズ形成素子を作成した場合、伝熱層膜の厚さの下限は、好ましくは 10  $\mu\text{m}$ 、更に好ましくは 100  $\mu\text{m}$  である。なお、伝熱層膜の膜厚の上限については光応答の大きさおよび／または速度からの制約はないが、用いられる集光レンズおよび受光レンズの方式、焦点距離および作動距離 (ワーキングディスタンス) と整合させて設計する必要がある。

#### 【実施例】

#### 【0133】

以下、本発明の実施形態について、実施例を参照しながら詳細に説明する。

#### 【0134】

##### [実施例 1]

図 1 a には、実施例 1 の光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成が示されている。図 1 a の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、1つの信号光光源 20 と、信号光 120 とは波長が異なる、3つの互いに波長の異なる制御光光源 21, 22, 23 と、信号光 120 と 3つの制御光 121, 122, 123 の全ての光軸を揃えて同軸で同方向に伝搬させるためのダイクロイックミラー 51, 52, 53 と、信号光 120 と 3つの制御光 121, 122, 123 を合わせて、光ファイバー 100 へ入射させるための集光レンズ 10 と、信号光 120 および 3つの制御光 121, 122, 123 を合わせて伝送する光ファイバー 100 と、光ファイバー 100 から出射する信号光 120 および 3つの制御光 121, 122, 123 を実質的に平行ビームに戻すためのコリメートレンズ 30 と、「熱レンズ入射光集光レンズ (31, 32, 33)、熱レンズ形成素子 (1, 2, 3)、熱レンズ出射光受光レンズ (41, 42, 43)、波長選択透過フィルター (81, 82, 83) および穴付ミラー (61, 62, 63)」からなる光路切替機構 91, 92, 93 を 3 段直列に連結した場合を例示したものである。光路切替機構 91 および 92 から出射する直進信号光 111 および 112 は、空間的に結合されて、各々後段の光路切替機構 92 および 93 の熱レンズ入射光集光レンズ 32 および 33 へ入射し、3 段目の光路切替機構 93 から出射する直進信号光 113 は直進出射信号光の集光レンズ 401 によって集光され、直進出射信号光の光ファイバー 101 へ入射する。また、光路切替機構 91, 92, 93 から光路が切替られて出射する信号光 211, 212, 213 は、各々光路切替後の出射信号光集光レンズ 71, 72, 73 によって集光され、光路切替後の出射信号光光ファイバー 11, 12, 13 へ入射する。光ファイバー 11, 12, 13, 100, 101 として、通常の単一モード石英光ファイバー (長さ 10 ないし 100 m) を用いた。単一モード石英光ファイバーの代わりにマルチモード石英光ファイバー、SI 型プラスチック光ファイバー、GI 型プラスチック光ファイバーなどを、制御光および信号光の透過率 / 伝送距離特性に応じて選択し、使用することができる。

#### 【0135】

光路切替機構の連結数は、互いに波長の異なる信号光光源の数に対応する。ただし、光

路切替機構 1 段当たりの信号光の透過率、光制御式光路切替型光信号伝送装置に入射する信号光の初期強度、および、最終的に必要な信号光強度から連結可能な段数が計算される。例えば、光路切替機構 1 段当たりの透過率が 85% (信号強度として 0.7 dB 減衰) であれば、4 段直列連結の場合の総合透過率は 52.2% (同 2.8 dB 減衰) となる。

#### 【0136】

以下、図 1 a に示す 3 段直列構成を例にして、詳細に説明する。なお、図 1 a における集光レンズ 31 および熱レンズ形成素子 1 の部分を抜き出した部分図を図 7 および図 8 に、更に受光レンズ 41 および穴付ミラー 61などを加えた部分図を図 9 および図 10 に示す。また、光路切替機構を 3 個以上設けた装置の構成図が複雑になることを避けるため、図 1 a に示すように光路切替機構 91, 92, 93 を空間結合型で連結させる場合、空間結合型の光路切替機構の概略構成図 (図 2 a の左図) を一部記号化して、図 2 a の右図のように表示することとする。すなわち、例えば、図 1 a の光制御式光路切替型光信号伝送装置は図 1 b のように一部記号化された概略構成図で表示される。図 1 a と図 1 b は表記方法が異なる以外は同一内容の概略構成図であることから、以下、図 1 a と図 1 b を区別する必要がない場合、単に「図 1」と呼ぶこととする。

#### 【0137】

また、2 つ以上の光路切替機構を光ファイバー結合型で連結させることもできるが、この場合、光ファイバー結合型の光路切替機構の概略構成図を省略して、図 3 のように表示することとする。

#### 【0138】

なお、図 1 a ないし図 3、および図 7 ないし図 10 において、熱レンズ形成素子 1 を「伝熱層膜 501 / 光吸収層膜 503 / 伝熱層膜 502」という 3 層構造として図示するが、これに限定されない。

#### 【0139】

本実施例では、熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 として、各々前述の色素 [1]、[2] および [3] の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子 800 (図 21) を用いた。前記色素を溶解させる溶剤としては徹底的に脱水および脱気した o-ジクロロベンゼンを用いた。光学セル 809 は熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 について同一形状のものを扱い、その色素溶液充填部 808 の厚さ、すなわち、入射・出射面ガラス 801 と 802 の内部における間隔は例えば 200  $\mu\text{m}$  とした。光学セル 809 の入射・出射面ガラス 801 と 802 の外面には AR コートを施した。また、光学セル 809 の導入口 807 は、色素溶液の充填および脱気処理を行った後、溶融・封印した。色素溶液の濃度は 0.2 ないし 2 重量%の間で調節し、色素 [1]、[2] および [3] について、各々 532 nm、670 nm および 800 nm の透過率が 0.0 ないし 0.2%、信号光 850 nm の透過率が 85 ないし 99% になるよう調整した。

#### 【0140】

本実施例では、光ファイバー 100 からの入射信号光 110 をコリメートレンズ 30 でビーム半径 5.0 mm のほぼ平行光線になるようにしている。

#### 【0141】

本実施例では、信号光 120 の光源 20 として、例えば、2.5 GHz で変調可能な発振波長 850 nm の面発光型半導体レーザーを用いているが、発振波長 1350 nm、1550 nm の超高速変調可能な半導体レーザー光を用いても良い。また、これら複数の波長の信号光を同時に用いても良い。本実施例では、熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 に各々熱レンズを形成させるための制御光 121, 122 および 123 を照射する制御光光源 21, 22 および 23 として、各々、発振波長 532 nm の半導体励起 Nd:YAG レーザーの 2 次高調波、670 nm および 800 nm の半導体レーザーを用い、制御光の断続によって信号光光路の切替を行っている。制御光 121, 122 および 123 は、いずれもビーム半径 4.5 mm の平行光線になるように、ビーム成形して用いている。制御光光源のレーザーパワーは、集光レンズ 31, 32 または 33 のいずれの手前においても 2 ないし 10 mW としている。



## 【0142】

制御光121, 122および123、および、信号光110, 111および112を共通の集光レンズ31, 32および33で各々収束させて熱レンズ形成素子1, 2および3へそれぞれ照射している。制御光および信号光の各々のビームウエストが、熱レンズ形成素子中において互いに重なり合うように、光ファイバー100へ入射させる前に、信号光と制御光をダイクロイックミラー51, 52および53を用いて同一光軸、かつ、信号光と制御光が互いに平行になるように調整している。このようにすることによって、制御光ビームウエスト位置における光吸収によって形成された熱レンズ効果を、効率良く信号光の進行方向変更に利用することが可能になる。

## 【0143】

前記信号光および3つの制御光はいずれも、ビーム断面の光強度分布がガウス分布であるものを用いた。このようなレーザー光をレンズで集光すると、ビームウエスト（集光点；焦点）での光強度分布は、ガウス分布となる。光吸収膜で吸収される波長帯域のレーザー光を制御光として、前記光吸収膜を含む熱レンズ形成素子に集光レンズを通して照射し、熱レンズ形成層を含む光吸収層膜中で収束させると、光吸収膜がレーザー光を吸収して熱レンズ形成層の温度が上昇し、その結果、屈折率が下がる。上記のようにガウス分布となった光を照射すると、光強度の強いガウス分布の中心部分が収束され、照射されたところが「光吸収の中心」となり、その部分の温度が最も高く、かつ、屈折率が一番小さくなる。光吸収の中心部分から外周へ向けての光吸収が熱に変わり、更に周囲に伝搬される熱により熱レンズ形成層を含む光吸収層膜の屈折率が光吸収中心から外部へ向けて球状に変化して光吸収中心の屈折率が低く外部へ向けて屈折率が高くなる分布を生じ、これが凹レンズのように機能する。すなわち、光は、屈折率の大きいところよりも小さいところで、速度が大きく、したがって、光強度の強いガウス分布の中心部分が照射されたところを光が通過するときの光速は、光強度の弱いガウス分布の周辺部分が照射されたところを光が通過するときの光速よりも大きい。よって光は、光強度の弱いガウス分布の周辺部分が照射された方向に曲がる。これは、局部的には、大気中での凹レンズと同じ動作である。実際には、制御光は集光レンズ31などによって集光されて熱レンズ形成層を含む光吸収層膜中に照射され、光吸収が収束光の進行方向に多重に起こり、多重に形成された熱レンズによって、進行する制御光自身の光束も変形されるため、観測される熱レンズ効果は、後述のように単一の凹レンズによるものとは異なる。

## 【0144】

本実施例では、熱レンズ形成素子1, 2および3を通過した信号光を受光レンズ41, 42および43ではほぼ平行光にコリメートしている。この受光レンズの開口数（以下、「NA」と呼ぶ。）は、集光レンズのNAよりも大きくなるよう設定している。本実施例では、集光レンズのNAは0.25、受光レンズのNAは0.55を用いている。受光レンズのNAは、集光レンズのNAの2倍以上が好ましい。この関係が満足されれば、集光レンズとコリメートレンズのNAの組み合わせは、この実施例に限らない。受光レンズのNAを、集光レンズのNAの2倍以上とすることによって、信号光のビーム直径が熱レンズ形成素子へ入射する際の2倍以上まで拡大されても、損失なしに受光することが可能となる。なお、本実施例では集光レンズと受光レンズの焦点距離は同一とし、集光レンズの有効直径は約10mmのものを用いた。

## 【0145】

受光レンズ41, 42および43でコリメートした信号光を穴付ミラー61, 62および63に入射させている。後に詳細に説明するように、この穴付ミラーを設けることで信号光の光路を切り替えることが可能となる。

## 【0146】

光吸収層膜の吸収帯域にある波長の制御光と透過帯域の波長である信号光とを、図7(a)に示すように熱レンズ形成素子1の光吸収層膜の入射面に近い位置5において焦点を結ぶように同時に照射すると、図8(a)に示すように制御光により入射面に近い位置に形成された熱レンズ50により、信号光は断面がリング状に拡がるように拡散された出射

光201として通常の出射光200よりも大きい開き角度で出射する。一方、図7(b)に示すように熱レンズ形成素子の光吸収層膜の出射面に近い位置6において焦点を結ぶように同時に照射すると、図8(b)に示すように制御光により出射面に近い位置に形成された熱レンズ60により、信号光は収束された出射光119として出射する。図7(a)および図7(b)のいずれの場合も、制御光を照射しないと、図8(a)および図8(b)に点線で示すように信号光は熱レンズ50または60の影響を受けることなく、信号光のみが通常の開き角度の出射光200として出射する。

#### 【0147】

このような熱レンズ効果を調べるため、熱レンズ効果の有無と集光点位置の相違に対応した信号光ビーム断面における光強度分布の相違の測定を行った。すなわち、図1または図9に概要を示す装置において、受光レンズ41の開口数0.55、集光レンズ31の開口数0.25とし、穴付ミラー61の代わりに図13に概要を示すような光強度分布測定器700を設置し、熱レンズ形成素子1を透過した信号光ビームの全てを受光レンズ41で受光し、平行光線として前記光強度分布測定器の受光部701(有効直径20mm)へ入射させ、信号光ビーム断面の光強度分布を測定した。測定結果を図18、図19、および、図20に示す。ここで、光強度分布測定器は、図13に示すように、受光部701(有効直径20mm)に対して幅1mmの第一のスリット702を設け、第一のスリットの長さ方向、すなわち図13において点710から点720の向きに、幅25 $\mu$ mの第二のスリット703を一定速度で移動させて、2枚のスリットが作る1mm $\times$ 25 $\mu$ mの長方形の窓を通過した光の強度を、前記窓の移動位置に対応させて測定する装置である。前記窓の移動位置に対応させて光強度を測定するには、例えば、第二のスリット703の移動速度に同期させたストレージオシロスコープ上に、前記窓を通過した光を受光した検出器の出力を記録すれば良い。図18～図20は、以上のようにして、ストレージオシロスコープ上に記録された信号光の光ビーム断面についての光強度分布を示すものであり、横軸(光ビーム断面内の位置)は受光部701の中心を0として、図13の点710を負方向、点720を正方向と座標を定めて表した位置に対応し、縦軸は光強度を表す。

#### 【0148】

図18は、図9(a)の場合に対応し、熱レンズ形成素子1に制御光が入射せず、信号光のみが入射した場合の前記信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の強度が強く、周辺にいくにしたがって強度が弱まる分布(おおむね「ガウス分布」)である。したがって、この場合に十分な大きさの穴161を有する穴付ミラー61が図9(a)のように設置されていると、信号光ビーム111の全てが穴付ミラーの穴161を通過することができる。ここで、平行光として集光レンズ31(焦点距離 $f_1$ )へ入射する信号光のビーム直径を $d_1$ 、受光レンズ41(焦点距離 $f_2$ )によって平行光とされた信号光ビーム111のビーム直径を $d_2$ とすると、

(数6)

$$f_1 : f_2 = d_1 : d_2 \quad \dots [8]$$

であるから、 $d_2$ は次の式によって求めることができる。

#### 【0149】

(数7)

$$d_2 = (f_2 / f_1) \times d_1 \quad \dots [9]$$

#### 【0150】

穴付ミラー61は、本実施例1では、信号光の光軸と45度の角度をもって設置されている。また、穴161を通過する信号光の断面は円形である。したがって、穴161の形状は短径 $D_1$ 、長径 $D_2$ の楕円である必要があり、 $D_1$ と $D_2$ は次の式[10]の関係にある。

#### 【0151】

(数8)

$$D_2 = D_1 \times \sqrt{2} \quad \dots [10]$$

#### 【0152】

ここで、穴付ミラー 61 の楕円形穴 161 の短径  $D_1$  は、式〔9〕から求められる信号光ビーム 111 のビーム直径  $d_2$  よりも大きければ良い。ただし、 $D_1$  が大きすぎると制御光の照射によってリング状に拡大された信号光の一部も通過してしまう。すなわち、 $D_1$  の最適値は  $d_2$  の 1.01 倍ないし 1.2 倍であり、より好ましくは 1.02 倍ないし 1.1 倍である。

#### 【0153】

本実施例 1 において、集光レンズ 31 の焦点距離  $f_1$  と受光レンズ 41 の焦点距離  $f_2$  は同一とした。したがって、集光レンズ 31 に入射する信号光 110 のビーム直径  $d_1$  と受光レンズによって平行光とされた信号光 111 のビーム直径  $d_2$  は同一であり、前述のように 10 mm である。したがって、本実施例 1 における穴付ミラー 61 の楕円形穴 161 の短径  $D_1$  は 10.1 mm ないし 12 mm が好ましく、より好ましくは 10.2 mm ないし 11 mm であり、実際には 10.5 mm とした。 $D_2$  は式〔7〕から 14.8 mm である。また、ミラーのサイズは、直径 30 mm のビームを 45 度反射可能な大きさ（50 m m 角）のものをを用いた。

#### 【0154】

図 19 は、焦点（集光点）を熱レンズ形成素子 1 の集光レンズ 31 に近い位置 5（光の入射側）に設定し、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺でリング状に光強度が増大する分布になっている。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および熱レンズ形成素子 1 と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すにしたがって、ゼロに近づいていく。また、信号光強度の極大位置は、元のビーム直径よりも大きな値（直径約 15 m m）であった。

#### 【0155】

図 20 に対応する熱レンズ効果の利用については、実施例 2 に記載する。

#### 【0156】

以上、まとめると、図 8（a）の光学配置において、制御光照射の有無に対応して、熱レンズ形成素子を通じた信号光のビーム断面の光強度分布が図 19 のリング状分布（制御光照射の場合）と図 18 のガウス分布（制御光非照射の場合）の間で切り替えられ、これを、信号光ビーム断面の光強度分布の形状に適合した穴付ミラーによって、それぞれ別個に取り出すことによって、信号光の光路の切替が可能となる。

#### 【0157】

穴付ミラー 61 は、本実施例 1 では、信号光の光軸と 45 度の角度をもって設置されている。穴付ミラー 61 のミラー面は、ガラス面上に誘電体多層膜をスパッタリング法で作成し、信号光の波長で反射率が極大になるよう調整したものをを用いた。穴付ミラー 61 の穴 161 の部分は、ガラスに楕円状の穴を、45 度傾けて開けて作成した。穴を開ける替わりに、楕円状に反射膜を付けなくても良いが、ガラス面には反射が数%あって信号光の減衰かつクロストークが起こるので、穴を開ける方が好ましい。穴の内面は光散乱などによる迷光を防ぐため、平滑で、無反射処理されていることが好ましい。また、反射膜は、誘電体多層膜に限らず、用いる制御光と信号光に反射がある材料であれば良く、金、銀等でも良い。

#### 【0158】

光路切替によって、図 1 に示すように、信号光本来の進行方向から 90 度方向変換して取り出した信号光（スイッチ信号光）211、212 および 213 は、集光レンズ 71、72 および 73 で集光して光ファイバー 11、12 および 13 に入射させている。

#### 【0159】

制御光の光源 21、22 および 23 の全てが消灯している場合、信号光は熱レンズ効果を受けず、信号光 111、112、次いで 113 として出射する。出射信号光 113 を集光レンズ 401 によって集光して光ファイバー 101 に入射させている。

#### 【0160】

なお、光ファイバー 11、12、13、または、101 の代わりに光検出器等に入射さ

せて、情報を電気信号に変換して取り出しても良い。

#### 【0161】

ここで、熱レンズ形成素子1, 2および3における制御光の透過率が0%でない限り、透過率に相当する分の制御光も熱レンズ形成素子1, 2および3を透過し、出射して来る。この制御光が後段の熱レンズ形成素子等に入射して誤動作ないしクロストークを起こすことを避けるため、熱レンズ形成素子1, 2および3における各々の制御光の透過率を0%に限りなく近づける必要がある。更に、熱レンズ形成素子1, 2および3の後ろまたは集光レンズ41, 42, および43の後ろに波長選択透過フィルター81, 82, 83を、設けることが好ましい。これらの波長選択透過フィルターとしては、個々の制御光の波長帯域の光を完全に遮断し、一方、信号光および後段の光路切替機構のための制御光の波長帯域の光を効率良く透過することのできるような波長選択透過フィルターであれば、公知の任意のものを使用することができる。例えば、色素で着色したプラスチックやガラス、表面に誘電体多層膜を設けたガラスなどを用いることができる。このような波長選択透過フィルター用材料からなる薄膜を集光レンズ41, 42, および43の表面に塗工法、スパッタリング法などの手法で形成し、前記波長選択透過フィルターとしての機能を発揮させても良い。

#### 【0162】

本実施例の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、「集光レンズ、熱レンズ形成素子、受光レンズ、および穴付ミラー」からなる光路切替機構を3段直列に連結したものである。したがって、制御光を全て消灯している場合は信号光は直進して光ファイバー101へ入射するのに対し、制御光21を点灯した場合は信号光211が光ファイバー11へ、制御光21を消灯し制御光22を点灯した場合は信号光212が光ファイバー12へ、更に、制御光21および22を消灯し制御光23を点灯した場合は信号光213が光ファイバー13へ、光路が切り替えられて出射する。複数の制御光を同時に点灯するケースについては後の実施例で説明する。

#### 【0163】

本実施例1の光制御式光路切替型光信号伝送装置において、第1段目の光路切替機構の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121を周波数数Hzから100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。

#### 【0164】

図1に示す制御光光源21からの制御光121を光検出器に導いてオシロスコープ上で測定した制御光の波形1210および制御光121の明滅に対応して光路切替された信号光211を光検出器に導いてオシロスコープ上で測定した信号光の波形1220を図15および図16に示す。なお、図16の縦軸は図15の場合の3倍に拡大されている。また、制御光121を断続する矩形波の周波数を200Hzないし100kHzに設定し、そのときの信号光の断続に対応する信号光の波形1220の振幅Lを測定した結果を図17に示す。

#### 【0165】

図15において制御光121（図1）を断続する矩形波の周波数500Hzであり、そのときの信号光の断続に対応する信号光の波形1220の振幅Lを基準の1とすると、制御光121（図1）を断続する矩形波の周波数範囲0.2から2kHzにおいて、振幅Lは、ほぼ1であった。すなわち、500マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチ（応答速度はミリ秒オーダー）に比べ、2倍以上の高速応答である。

#### 【0166】

更に周波数を高めた場合の例として、周波数20kHzにおける信号光の波形1220を図16に示す。図16から判るように熱レンズ効果による光路切替が完了しない内に制御光を消灯すると、信号光の波形はのこぎりの刃状になり、振幅Lは小さくなっていく。すなわち、熱レンズ効果の応答速度を超えると光路の切替は不完全になり、信号光の一部

は光路切替されずに直進する。

#### 【0167】

以上のような第1段目の光路切替機構において行った光応答速度測定と同様の測定を、第2段目および第3段目の光路切替機構において、各々信号光122および123を断続させて実施したところ、第1段目と同等の高速応答を示した。

#### 【0168】

本実施例1の光制御式光路切替型光信号伝送装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121、122および123を各々、周波数数1kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、各々連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

#### 【0169】

本実施例1の光制御式光路切替型光信号伝送装置の偏波依存性を検証するため、信号光および制御光に1枚の偏光素子を挿入し、偏光角を種々変化させる実験を行ったが、偏波依存性は全く認められなかった。

#### 【0170】

本実施例1の光制御式光路切替型光信号伝送装置の出射直進光と光路切替光とのクロストーク特性を調べるため、制御光全て消灯、制御光光源21のみ点灯、制御光光源22のみ点灯、および、制御光光源23のみ点灯の各々の場合について、光ファイバー101、11、12、13からの出射光強度を比較したところ、目的とする出射光強度に対するモレ光（クロストーク）強度は2000ないし8000:1（-33ないし39dB）と微弱であった。

#### 【0171】

##### 〔実施例2〕

信号光ビーム断面における光強度分布の一例を表す図20は、図8（b）および図10（b）に示すような光学配置の場合に対応し、焦点（集光点）を図7（b）に示す熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6（光の出射側）に設定し、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合は、中心部分の光強度が、制御光を照射しない場合の中心部分の光強度（図18）より強くなっている。この場合、信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および熱レンズ形成素子1と焦点6との位置関係に依存するが、制御光非照射時の数倍にも達する。

#### 【0172】

したがって、この場合に穴付ミラー61が設置されていると、信号光ビームの大部分が穴付ミラーの穴161を通過する。ここで、穴付ミラー61（および62、63）の穴161の大きさが最適化（本実施例2の場合、直径2mm）されていると、穴付ミラー61によって反射される信号光を事実上ゼロにすることができる。しかしながら、穴付ミラー61の穴161の大きさを最適化しても、制御光を照射しない場合（図9（a）、図8）において、図10（a）に示すような信号光の中心部分が穴161を漏れ信号光118として通過してしまうことは防げない。すなわち、本実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置においては、信号光ビーム断面の光強度分布がガウス分布ないしガウス分布に近い場合、図10（a）における信号光211に対して、必ず、ある程度の漏れ信号光118（クロストーク）が発生する。

#### 【0173】

しかるに、熱レンズ形成素子へ入射する信号光ビーム断面の光強度分布を変更することによって、このような漏れ信号光を事実上ゼロにすることができる。すなわち、図1および図2bに示すように、光ファイバー100から出射した信号光110をコリメートレンズ30を用いて整形した後、円錐プリズム型レンズなどからなるビーム断面リング化レンズ群321によって、信号光ビーム断面の光強度分布を図19に相当するようなリング状の分布にすることが容易にできる。このような断面光強度分布の信号光110を集光レンズ31にて焦点位置6（図10（a））を通過するように収束して熱レンズ形成素子1を

透過させた後、受光レンズ41で平行光線に戻すと、その光ビーム断面の光強度分布は図19に相当するように周辺部分で強く、中心部分が事実上ゼロの「リング状」となるため、穴付ミラー61を設置した場合、その穴161を通過する信号光のモレを事実上、なくすることができる。信号光ビーム断面の光強度分布がこのように「リング状」であっても、図9(b)のように制御光を照射して熱レンズ60を過渡的に形成させた場合には、信号光ビーム断面の光強度分布は鋭いビーム状の収束直進信号光119として穴付ミラー61の穴161を通過していく。

#### 【0174】

図10に例示するような光学配置において、制御光および信号光の焦点が熱レンズ形成素子の出射側に近い位置6になるよう調整し、更に信号光ビーム断面の光強度分布をリング状にすることによって、制御光非照射のとき、信号光本来の進行方向から90度、光路を切り替えて信号光を出射させること、また、制御光照射時に信号光を直進させることができる。

#### 【0175】

本実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、実施例1(図1)における光路切替機構91、92、93を図2bに例示されるような光路切替機構191に全て置き換えたものであって、信号光および制御光の焦点(集光点)を熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6(光の出射側)に設定し、穴付ミラー61の穴161を実施例1の場合よりも小さく、直径2mmとしたものである。この場合、信号光および制御光の焦点(集光点)を熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6(光の出射側)に設定するため、熱レンズ形成素子の光吸収層膜における制御光の透過率は、1ないし5%であることが好ましい。光路切替機構191に入射する信号光110のビーム断面光強度分布がガウス分布ないしガウス分布に類似であって、リング状でない場合、円錐プリズム型レンズなどからなるビーム断面リング化レンズ群321によって、信号光ビーム断面の光強度分布をリング状にすることが好ましい。また、信号光と制御光が同時に照射された場合、制御光の光吸収によって形成された熱レンズ60を出射する収束直進信号光119は、ビーム径が小さいため、後段で集光する場合、前述のようにビームウエストが大きめになってしまう。これを避けるため、収束直進信号光119をビームエキスパンダー331によって、入射信号光110と同等の半径5mmまで拡大させた信号光111として出射させることが好ましい。

#### 【0176】

本実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置の制御光121、122、123の点灯の組み合わせと光路切替の関係は次の通りである。少なくとも制御光121を消灯した場合、信号光110は穴付ミラー61の反射面によって反射され、光路切替信号光211として出射し、集光レンズ71によって集光され、光ファイバー11へ入射する。制御光121を点灯した場合、信号光110は収束直進信号光119として穴付ミラー61の穴161を通過した後、ビームエキスパンダー331によって入射信号光110と同じビーム径まで拡大されて第2段目の光路切替機構192(図4)に入射する。制御光121が点灯し、制御光122が消灯されている場合、信号光111は光路切替光212として出射し、光ファイバー12に入射する。制御光121と122が同時に点灯している場合、信号光は直進し、信号光112として第3段目の光路切替機構193(図4)に入射し、制御光121と122が同時に点灯し、かつ、制御光123が消灯している場合、光路切替光213として光ファイバー13へ入射する。制御光121、122、123が全て点灯している場合、信号光110は最終的に直進信号光113として出射し、集光レンズ401によって集光され、光ファイバー101へ入射する。

#### 【0177】

本実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121を周波数数Hzから100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。その結果、1Hzのときの信号光の強度振幅を基準として、2kHzまで、強度振幅は

変化せず、更に周波数を高めた場合、強度振幅は徐々に減衰し、10kHzのとき半減した。すなわち、500マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチに比べ、2倍以上の高速応答である。制御光122および123を同様に断続しても、121を断続した場合と同等の応答速度が観測された。

#### 【0178】

本実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光121、122、123を各々周波数1kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、各々連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

#### 【0179】

本実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置の出射直進光と光路切替光とのクロストーク特性を調べるため、制御光全て消灯、制御光121のみ点灯、制御光121および122のみ点灯、および、制御光121、122、123全て点灯の各々の場合について、光ファイバー101、11、12、13からの出射光強度を比較したところ、目的とする出射光強度に対するモレ光(クロストーク)強度は1000ないし2000:1(−30ないし33dB)と微弱であった。

#### 【0180】

##### [実施例3]

実施例1における穴付ミラー61の設置角度(信号光110の光軸に対して45度)を変更し、楕円状穴161の形状(短径に対する長径の長さ)を設置角度に基づいて三角関数を用いて計算して決定することによって、信号光110の光軸に対する光路切替の角度を、おおよそ5度から175度の範囲で自由に変更することができる。第2段目以降の穴付ミラー62および63の設置角度を同様に変更可能である。

#### 【0181】

また、信号光110の光軸を回転軸として、穴付ミラー61の設置位置を回転し、集光レンズ71等の位置を移動することによっても、信号光110の光軸に対する光路切替の方向を、0から360度の範囲で自由に変更することができる。第2段目以降の穴付ミラー62および63の設置位置を同様に変更することもできる。

#### 【0182】

##### [実施例4]

図5には、実施例4の光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成が示されている。図5において信号光光源20、制御光光源21、22、23、ダイクロイックミラー51、52、53、集光レンズ10、光ファイバー100、および、コリメートレンズ30は実施例1の場合と同一である。

#### 【0183】

図5の光制御式光路切替型光信号伝送装置は、実施例1の第2段目の光路切替機構92に1つ、更に、第1段目の光路切替機構91の後段に3つの光路切替機構を空間結合型を追加、連結し、合計7つの光路切替機構によって、また、3種類の制御光の同時点灯の組み合わせによって、信号光120の出射先を光ファイバー101、102、103、104、13、14、15、および16の8方向へ光路切替するものである。すなわち、原理的には一般に、 $n$ を2以上の整数として、 $n$ 種類の制御光の点灯状況の組み合わせによって、2の $n$ 乗方向の光路切替が、2の $n$ 乗引く1個の光路切替機構を連結することによって可能になる。実際には光路切替機構1段当たりの信号光の透過率の組み合わせによって、実用的な組み合わせ段数が決まる。光路切替機構で光路が切り替わらない「直進信号光」の透過率を85% (信号強度として0.7dB減衰)、光路が切り替えられた「切替信号光」の減衰率を80% (同1.0dB減衰)と仮定すると、全て直進した場合の総合透過率は61.4% (同2.1dB減衰)、3段とも切り替えられた場合の総合透過率は51.2% (同2.9dB減衰)である。表2に3種類の制御光121、122、123の同時点灯の組み合わせと信号光出射先をまとめて示す。

【0184】

【表2】

	制御光			信号光 出射先
	121	122	123	
制御光の 組合せ	off	off	off	101
	off	off	on	13
	off	on	off	14
	off	on	on	102
	on	on	off	104
	on	on	on	16
	on	off	off	15
	on	off	on	103

【0185】

第1段目の光路切替機構91の熱レンズ形成素子としては、実施例1の場合と同様に波長532nmの信号光121を吸収する色素〔1〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子を用いた。波長透過率特性も実施例1の場合と同一とした。

【0186】

第2段目の光路切替機構92（光路切替機構91からの直進光111と空間的に結合）と95（光路切替機構91からの切替光211と空間的に結合）の熱レンズ形成素子としては、いずれの場合も、実施例1の場合と同様に波長670nmの信号光122を吸収する色素〔2〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子を用いた。波長透過率特性については後で説明する。

【0187】

第3段目の光路切替機構93（光路切替機構92からの直進光112と空間的に結合）、94（同92からの切替光212と空間的に結合）、96（同95からの切替光215と空間的に結合）、97（光路切替機構95からの直進光115と空間的に結合）の熱レンズ形成素子としては、いずれの場合も、実施例1の場合と同様に波長800nmの信号光123を吸収する色素〔3〕の溶液を充填した色素溶液充填式熱レンズ形成素子を用いた。波長透過率特性については後で説明する。

【0188】

ここで、前段の光路切替機構からの直進光と結合する後段の光路切替機構92、93、97においては、実施例1における光路切替機構の場合と同様に、集光レンズ31などによって信号光および制御光を図7（a）および図9の位置5に相当する位置、すなわち、熱レンズ素子の光吸収層膜の入射面に近い位置において焦点を結ぶように調整し、更に、穴付ミラー61などの穴161などの大きさも、実施例1の場合と同一とした。このようにすることで、前段の光路切替機構からの直進光を効率良く、後段の光路切替機構で直進または切替することが可能になる。光路切替機構92、93、97においては、各々の制御光の透過率が0.0ないし0.2%、信号光850nmの透過率が85ないし99%になるよう調節した。

【0189】

一方、前段の光路切替機構からの光路切替光（リング状断面の光）と結合する後段の光路切替機構94、95、96においては、実施例2における光路切替機構191の場合と同様に、集光レンズ31などによって信号光および制御光を図7（b）および図10の位置6に相当する位置、すなわち、熱レンズ素子の光吸収層膜の出射面に近い位置において焦点を結ぶように調整し、更に、穴付ミラー61などの穴161などの大きさも、実施例2の場合と同一とした。ただし、光路切替機構94、95、96には、前段の光路切替機構から、光路が切り替えられたリング状の信号光212、211、215が各々空間結合されて、リング状のまま入射するため、光路切替機構191におけるビーム断面リング化



レンズ群 321 (図 2b) は設けなかった。一方、収束直進信号光 119 のビーム径を拡大するためのビームエキスパンダー 331 (図 2b) は、光路切替機構 94, 95, 96 の各々に設けた。

#### 【0190】

このようにすることで、前段の光路切替機構からのリング状断面の光路切替光を効率良く、後段の光路切替機構で直進または切替することが可能になる。光路切替機構 94, 95, 96 においては、各々の制御光の透過率が 1.0 ないし 5.0%、信号光 850 nm の透過率が 85 ないし 99% になるよう調節した。

#### 【0191】

第 3 段 (最終段) の光路切替機構から出射する直進光 113, 114, 116, 117 については、各々、集光レンズ 401, 402, 403, 404 によって集光され、出射信号光ファイバー 101, 102, 103, 104 へ入射する。同じく出射する光路切替光 213, 214, 216, 217 については、各々、集光レンズ 73, 74, 75, 76 によって集光され、出射信号光ファイバー 13, 14, 15, 16 へ入射する。これら光ファイバーの仕様は、実施例 1 の場合と同様である。

#### 【0192】

本実施例 4 の光制御式光路切替型光信号伝送装置において、第 1 ないし 3 段目の光路切替機構の光応答速度を実施例 1 の場合と同様にして測定したところ、同様な結果が得られた。

#### 【0193】

本実施例 4 の光制御式光路切替型光信号伝送装置の耐久性を実施例 1 の場合と同様にして測定したところ、各光路切替機構とも、各々連続 1 万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰せず、高い耐久性を確認することができた。

#### 【0194】

本実施例 4 の光制御式光路切替型光信号伝送装置の偏波依存性を検証するため、信号光および制御光に 1 枚の偏光素子を挿入し、偏光角を種々変化させる実験を行ったが、偏波依存性は全く認められなかった。

#### 【0195】

本実施例 4 の光制御式光路切替型光信号伝送装置の 8 本の出射信号光間のクロストーク特性を調べるため、表 2 に示す制御光点灯の組み合わせ 8 通りの各々の場合について、光ファイバー 13, 14, 15, 16, 101, 102, 103, 104 からの出射光強度を比較したところ、目的とする出射光強度に対するモレ光 (クロストーク) 強度は 1000 ないし 8000:1 (-30 ないし 39 dB) と微弱であった。

#### 【0196】

##### [実施例 5]

図 6 には、実施例 5 の光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成が示されている。本実施例 5 は、実施例 4 の光制御式光路切替型光信号伝送装置における空間結合型光路切替機構 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 (図 2a または図 2b に相当する) を光ファイバー結合型光路切替機構 910, 920, 930, 940, 950, 960, 970 (全て図 3 に相当) に置き換えたものである。前記光ファイバー結合型光路切替機構の全てにおいて、実施例 1 における光路切替機構の場合と同様に、集光レンズ 31 などによって信号光および制御光を図 7 (a) および図 9 の位置 5 に相当する位置、すなわち、熱レンズ素子の光吸収層膜の入射面に近い位置において焦点を結ぶように調整し、更に、穴付ミラー 61 などの穴 161 などの大きさも、実施例 1 の場合と同一とした。また、前記光ファイバー結合型光路切替機構の全てにおいて、熱レンズ形成素子の構成、材料、および、透過率特性は実施例 1 の場合と同一とした。個々の光ファイバー結合型光路切替機構を接続する光ファイバーの長さは、一般家庭内、病院内、オフィス内などの用途を想定し、10 ないし 100 m とした。

#### 【0197】

光ファイバー結合に基づく制御光のロスを補うために制御光光源 21, 22, 23 の出

力を高めることによって、全段の光路切替機構において、熱レンズ形成素子に入射する制御光のパワーが2ないし5mWになるよう調整した。また、信号光光源の出力も、8つの出射信号光が各々十分なパワーになるよう調節した。

#### 【0198】

第3段目の光路切替機構930、940、960、970の直進出射信号光は、光ファイバーとコリメートレンズを経由して各々受光器1013、1014、1016、1017へ入射させ、光路切替された信号光は、光ファイバーとコリメートレンズを経由して各々受光器2013、2014、2016、2017へ入射させた。

#### 【0199】

表3に本実施例5における3種類の制御光121、122、123の同時点灯の組み合わせと信号光出射先受光器の対応関係をまとめて示す。

#### 【0200】

【表3】

	制御光			信号光 出射先
	121	122	123	
制御光の 組合せ	off	off	off	1013
	off	off	on	2013
	off	on	off	1014
	off	on	on	2014
	on	on	off	1016
	on	on	on	2016
	on	off	off	1017
	on	off	on	2017

#### 【0201】

本実施例5の光制御式光路切替型光信号伝送装置の光応答速度、耐久性、偏波依存性、および、クロストークについて実施例4の場合と同様に測定し、同等ないし同等以上の結果を得た。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0202】

光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法は、例えば、企業のオフィス、工場、病院、一般家庭などにおいて、高精細画像データおよび高精細動画データなどの大容量デジタル情報を、サーバーから複数のクライアントの特定の1箇所へ、高速に配信するシステムにおいて好適に使用される。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0203】

【図1a】実施例1の光路切替機構を省略せずに表記した光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成図である。

【図1b】実施例1の光路切替機構を記号化して簡略表記した光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成図である。

【図2a】空間結合型の光路切替機構の概略構成図を記号化して簡略表記することを示した図である。

【図2b】空間結合型の光路切替機構の概略構成図を記号化して簡略表記することを示した図である。

【図3】光ファイバー結合型の光路切替機構の概略構成図を記号化して簡略表記することを示した図である。

【図4】実施例2の光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成図を記号化して簡略表示した図である。

【図5】実施例4の光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成図を記号化して簡

略表示した図である。

【図 6】実施例 5 の光制御式光路切替型光信号伝送装置の概略構成図を記号化して簡略表示した図である。

【図 7】熱レンズが形成されない場合の光の進み方を示した図である。

【図 8】ビームウエストの位置を光吸収層膜のビーム入射側近傍（a）または出射側近傍（b）に調整した場合において熱レンズが形成された場合の光の進み方を示した図である。

【図 9】ビームウエストの位置を光吸収層膜のビーム入射側近傍に調整した場合における光路切替の原理を示した模式図である。

【図 10】ビームウエストの位置を光吸収層膜のビーム出射側近傍に調整した場合における光路切替の原理を示した模式図である。

【図 11】熱レンズ形成素子の構成例を例示した断面図である。

【図 12】熱レンズ形成素子の構成例を例示した断面図である。

【図 13】信号光ビーム断面の光強度分布測定に用いたスリットと光ビームとの関係を示す図である。

【図 14】集光レンズなどで収束されたガウスビームの焦点近傍における様子を表した模式図である。

【図 15】オシロスコープで観察した制御光および信号光の波形を表した図である。

【図 16】オシロスコープで観察した制御光および信号光の波形を表した図である。

【図 17】制御光を断続する周波数と光路切替された信号光の強度（振幅）の関係を表した図である。

【図 18】信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図 19】信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図 20】信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図 21】色素溶液充填式熱レンズ形成素子を例示した模式図である。

【図 22】色素〔1〕、〔2〕および〔3〕の溶液の透過率スペクトルを各々実線、鎖線および一点鎖線で表した図である。

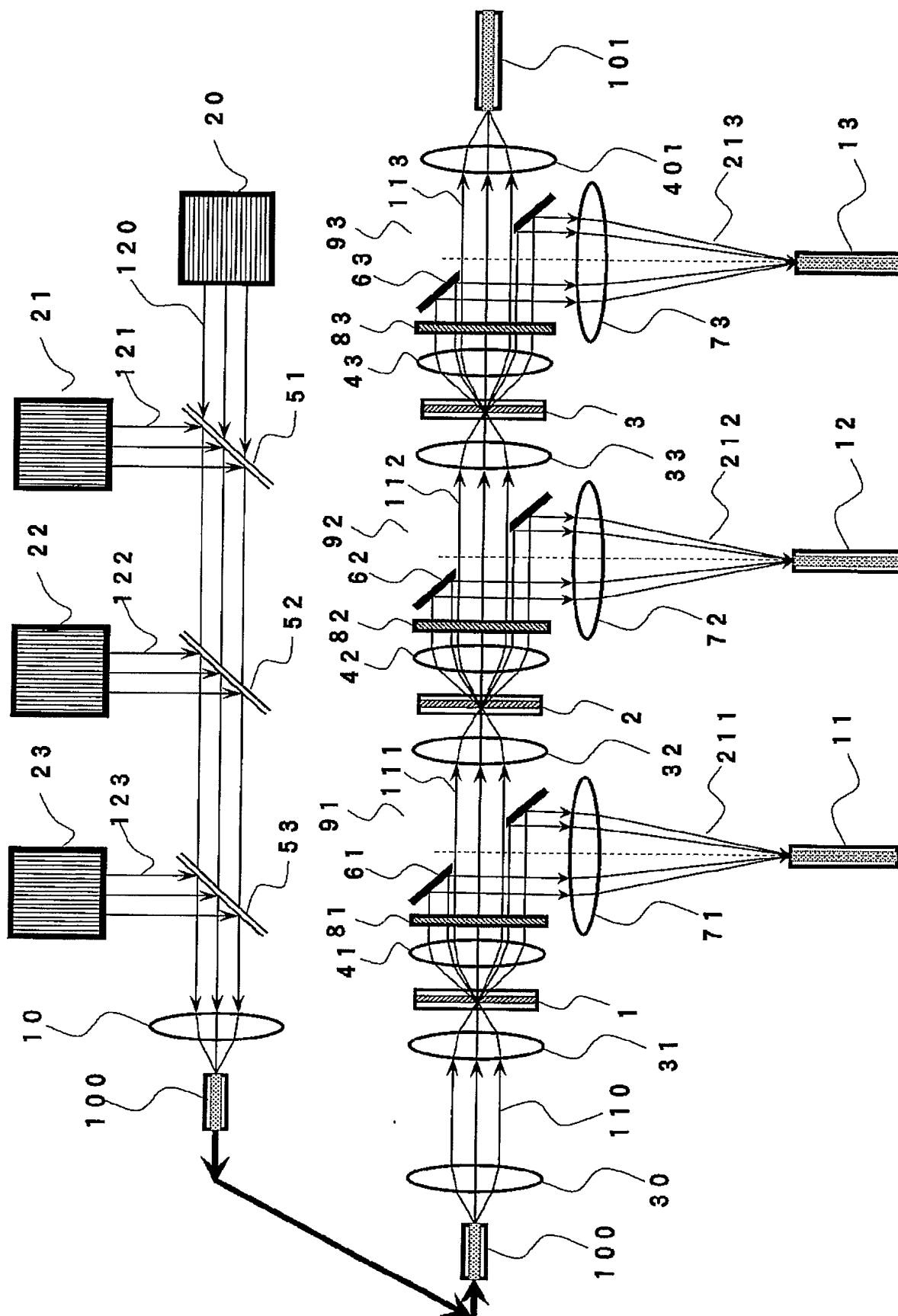
#### 【符号の説明】

#### 【0 2 0 4】

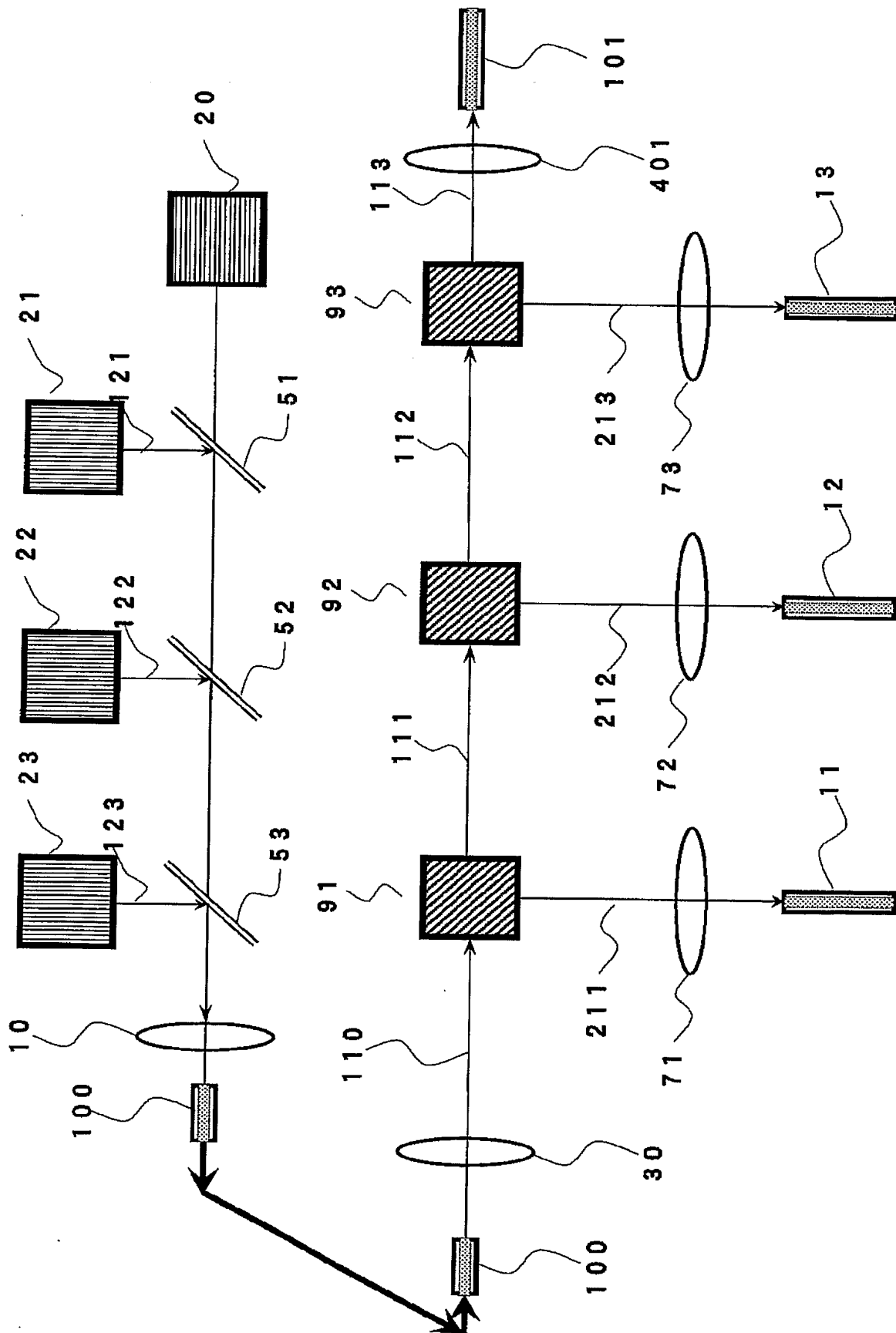
1, 2, 3 熱レンズ形成素子、5, 6 ビームウエスト（焦光点）、10 信号光および制御光を光ファイバーへ入射させるための集光レンズ、11, 12, 13, 14, 15, 16 出射信号光の光ファイバー、20 信号光光源、21, 22, 23 制御光光源、30 コリメートレンズ、31, 32, 33 集光レンズ、41, 42, 43 受光レンズ、50 入射側熱レンズ、51, 52, 53 ダイクロイックミラー、60 出射側熱レンズ、61, 62, 63 穴付ミラー、71, 72, 73, 74, 75, 76 リング状出射信号光用集光レンズ、81, 82, 83 波長選択透過フィルター、91, 92, 93, 94, 95, 96, 97 空間結合型光路切替機構、100 信号光および制御光伝送のための光ファイバー、101, 102, 103, 104 出射信号光の光ファイバー、110 コリメートされた入射信号光および入射制御光、111, 112, 113, 114, 115, 116, 117 直進信号光、118 漏れ信号光、119 収束直進信号光、120 信号光、121, 122, 123 制御光、161 穴付ミラーの穴、191 空間結合型光路切替機構、200 通常の開き角度の出射信号光、201 リング状に広がる出射信号光、211, 212, 213, 214, 215, 216, 217 光路切替後の出射信号光、300 波面、301 焦点（集光点）、310 直進出射信号光の集光レンズ、311 コリメートレンズ、321 ビーム断面リング化レンズ群、331 ビームエキスパンダー、401, 402, 403, 404 直進出射信号光の集光レンズ、500 熱レンズ形成素子、501 伝熱層膜、502 伝熱層膜、503 光吸収膜、504 光吸収膜、505 熱レンズ形成層、506 光透過層、507 屈折率分布型レンズ、508 信号光、509 制御光、600 熱レンズ形成素子、601 伝熱層膜、602 伝熱層膜、603 光吸収膜、604 光吸収膜、605

熱レンズ形成層、608 信号光、609 制御光、610 集光レンズ、700 光強度分布測定器、701 受光部、702 第一のスリット、703 第二のスリット、710 点、711 コリメートレンズ、720 点、800 色素溶液充填式熱レンズ形成素子、801, 802 入射・出射面ガラス、803, 804 側面ガラス、805 底面ガラス、806 導入管、807 導入口、808 色素溶液充填部、809 光学セル、910, 920, 930, 940, 950, 960, 970 光ファイバー結合系を含む光路切替機構、1001 伝熱層膜、1002 光吸収層膜、1003 伝熱層膜、1013, 1014, 1016, 1017 受光器、1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160, 1170 コリメートされた光ファイバー出射光、1210 制御光の波形、1220 信号光の波形、2013, 2014, 2016, 2017 受光器、2110, 2120, 2130, 2140, 2150, 2160, 2170 コリメートされた光ファイバー出射光。

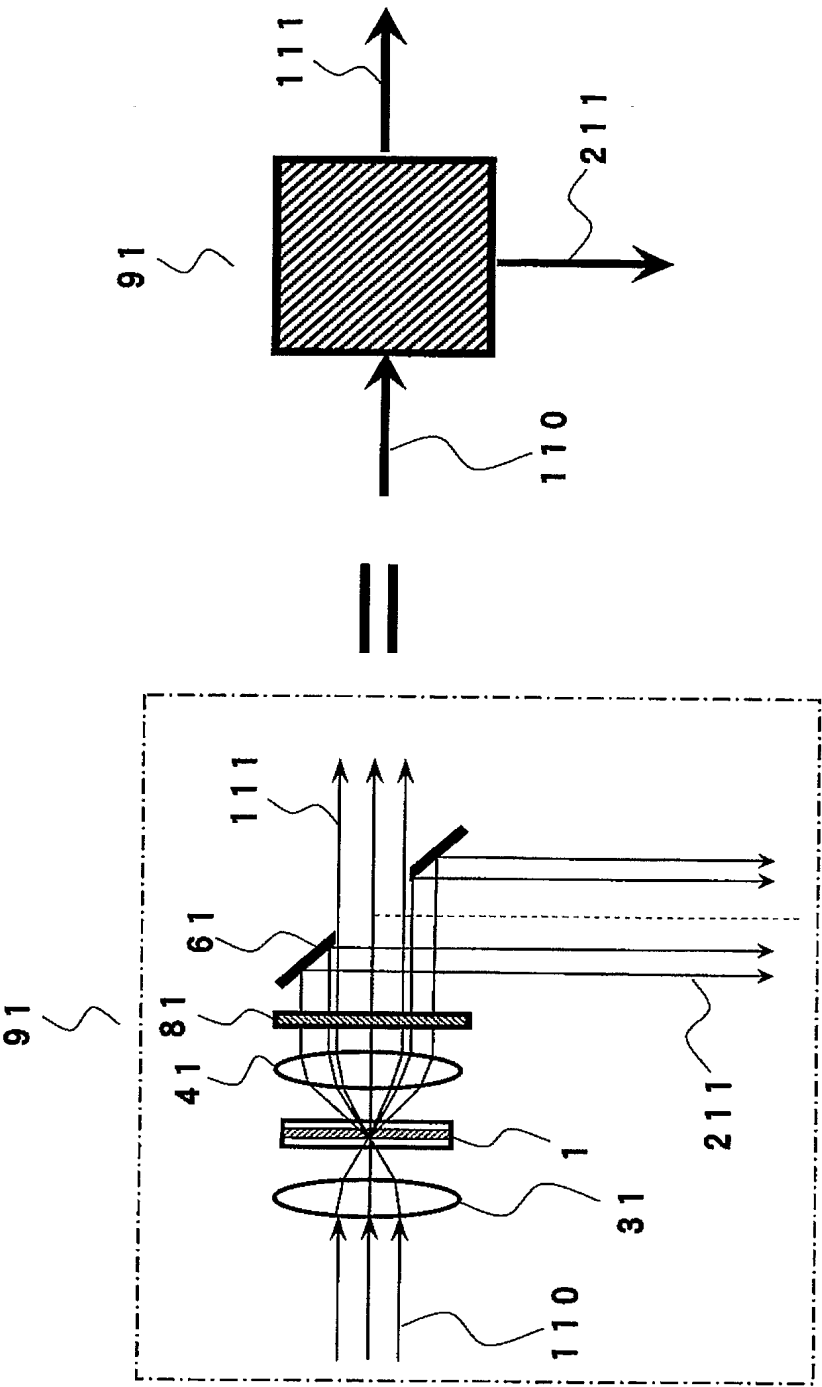
【書類名】 図面  
【図1 a】



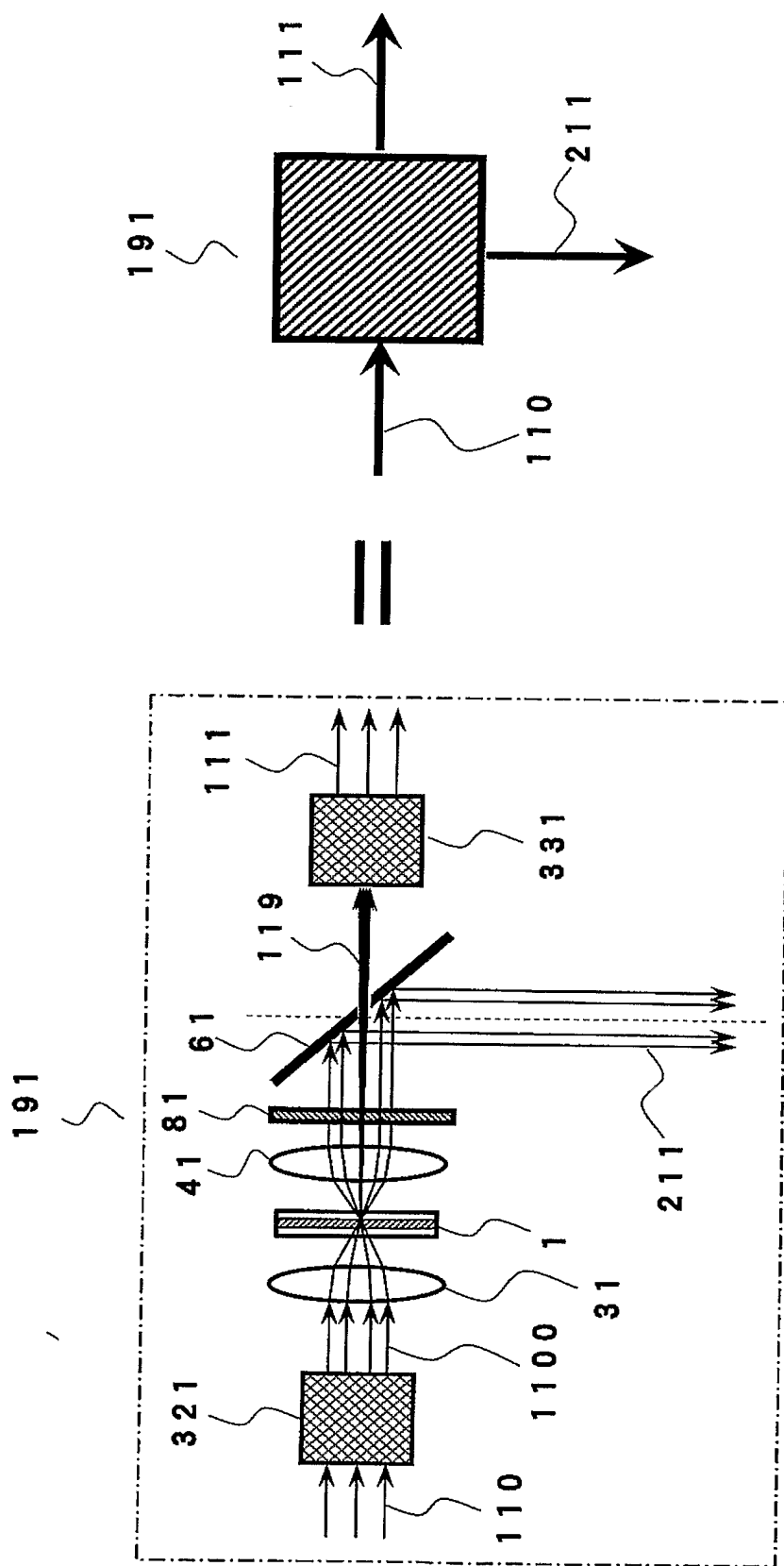
【図 1 b】



【図 2 a】

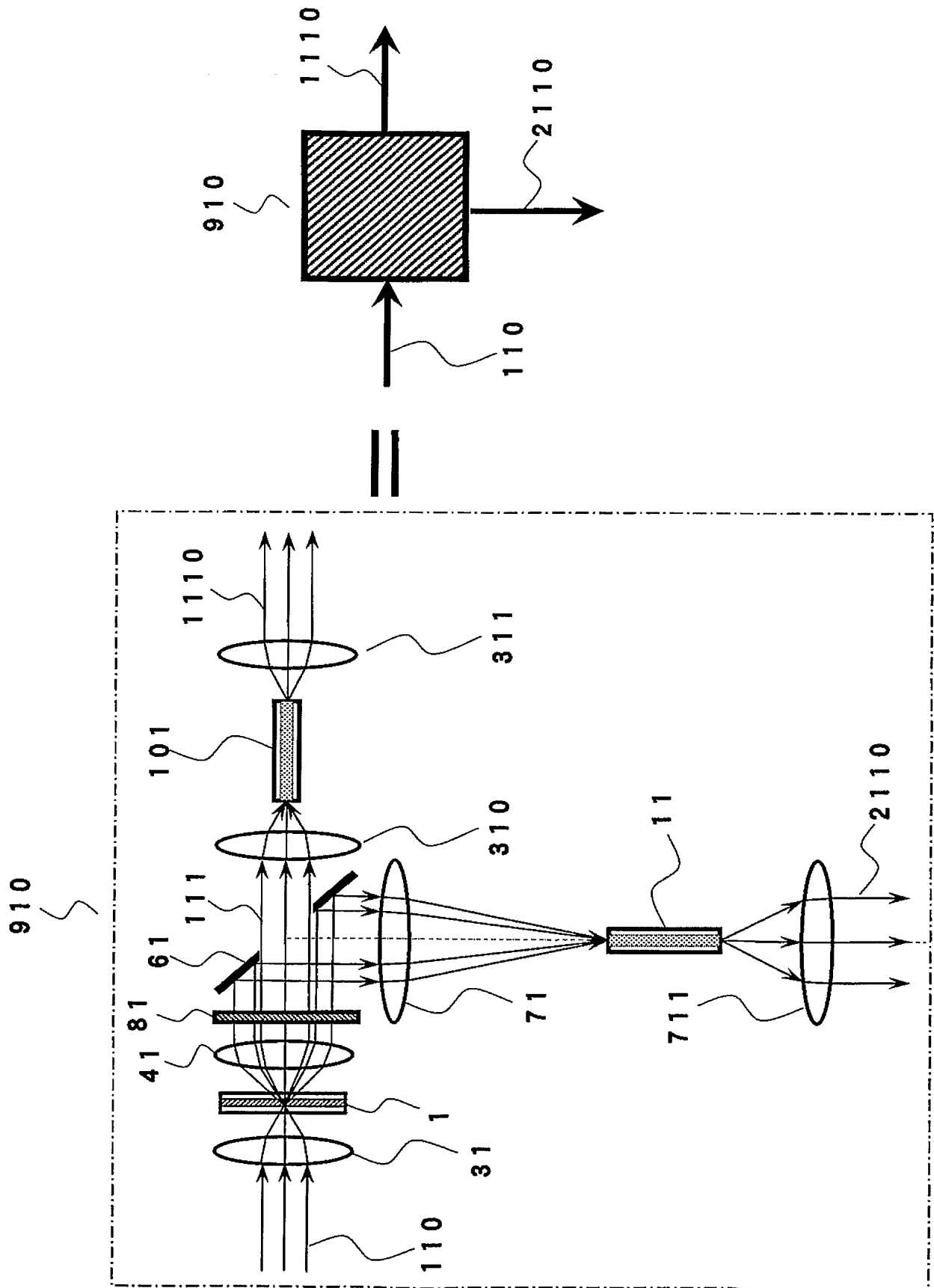


【図 2 b】

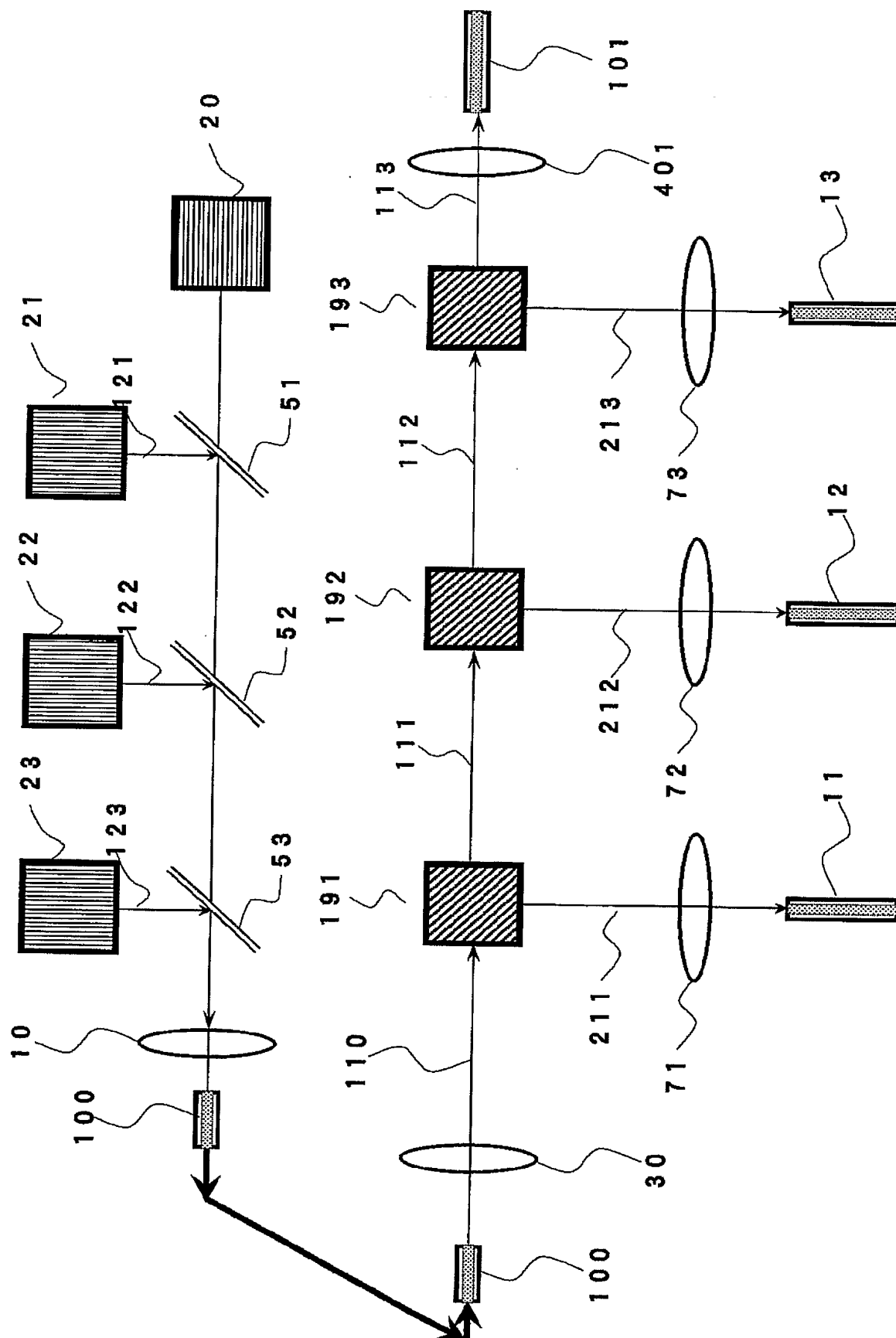




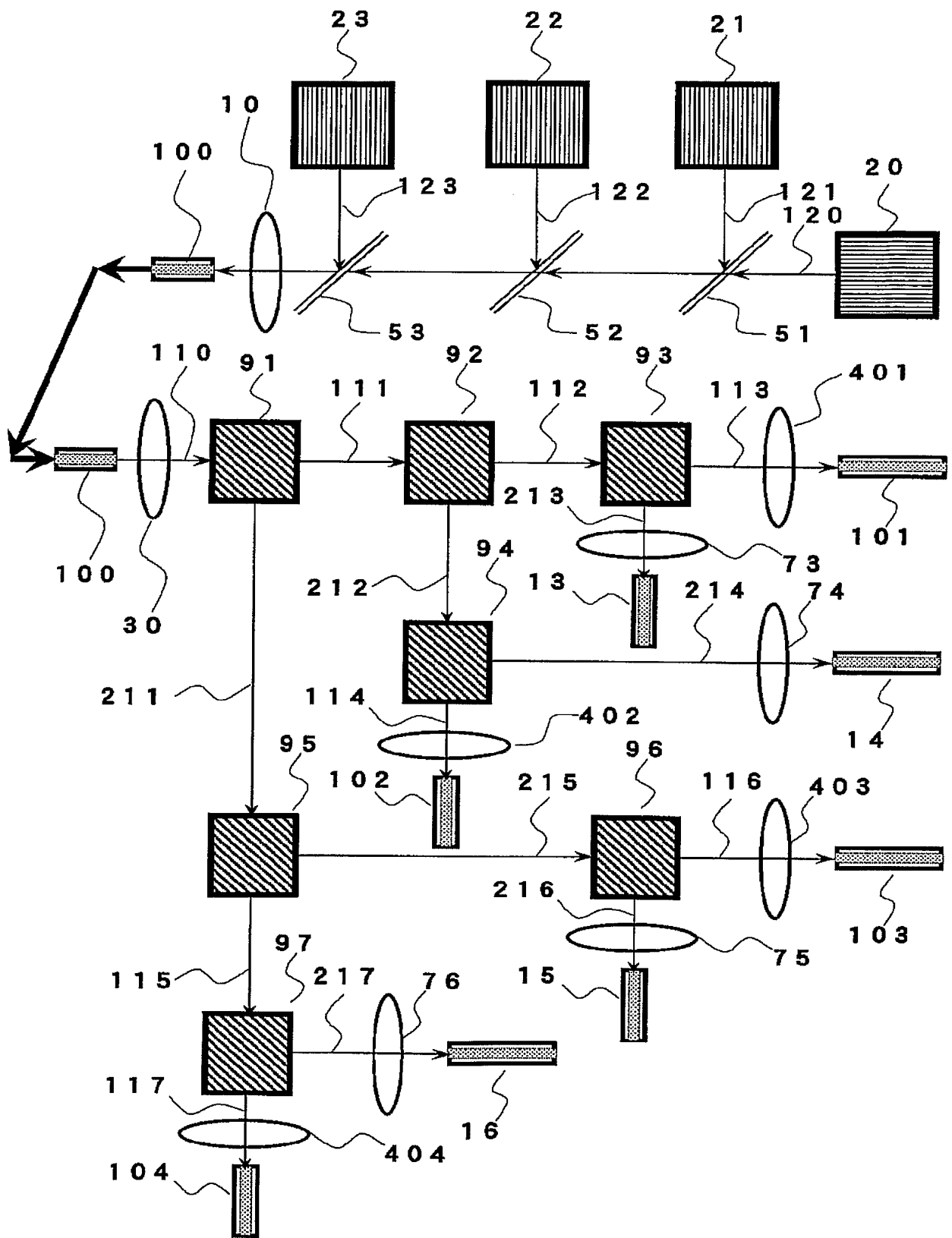
【図 3】



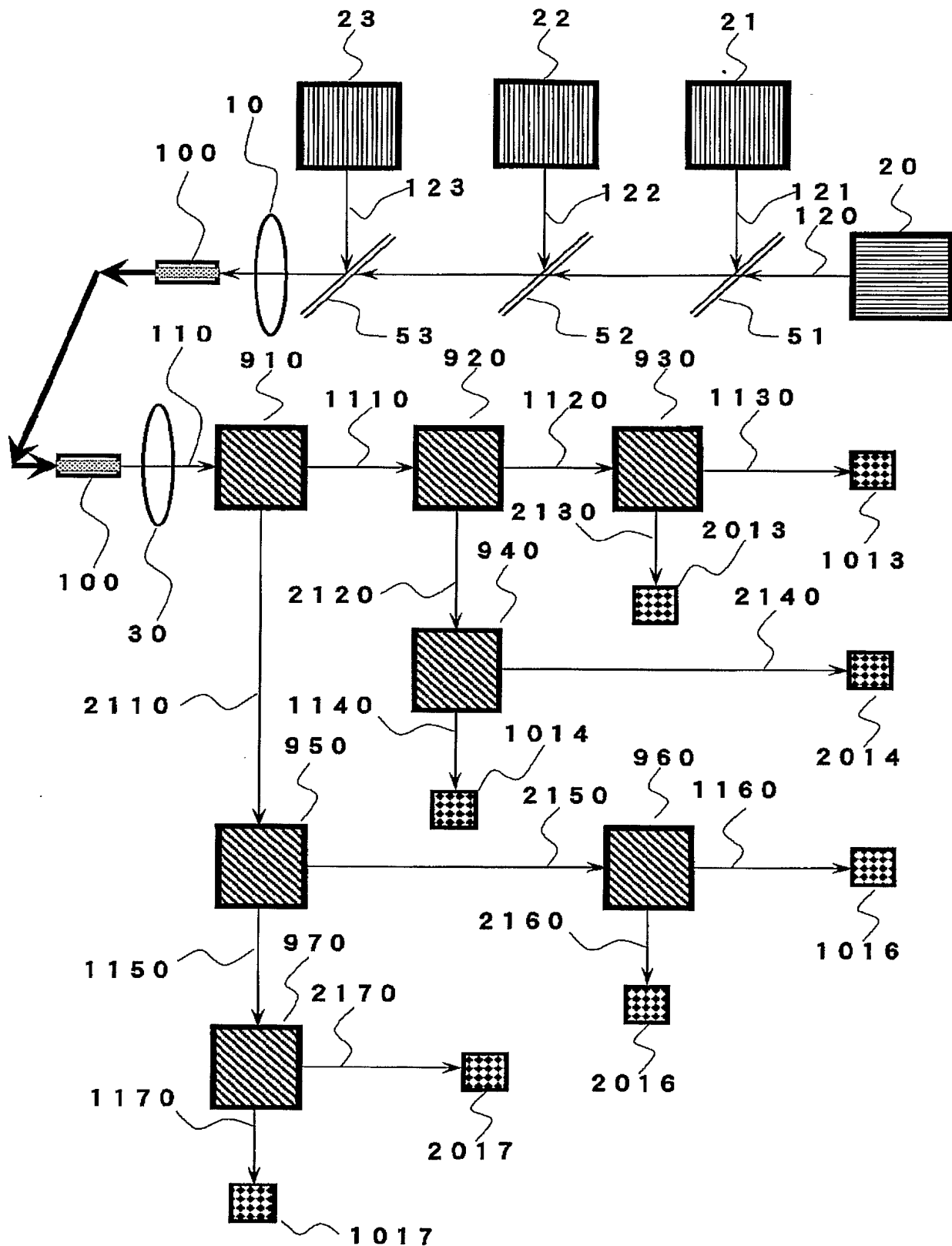
【図 4】



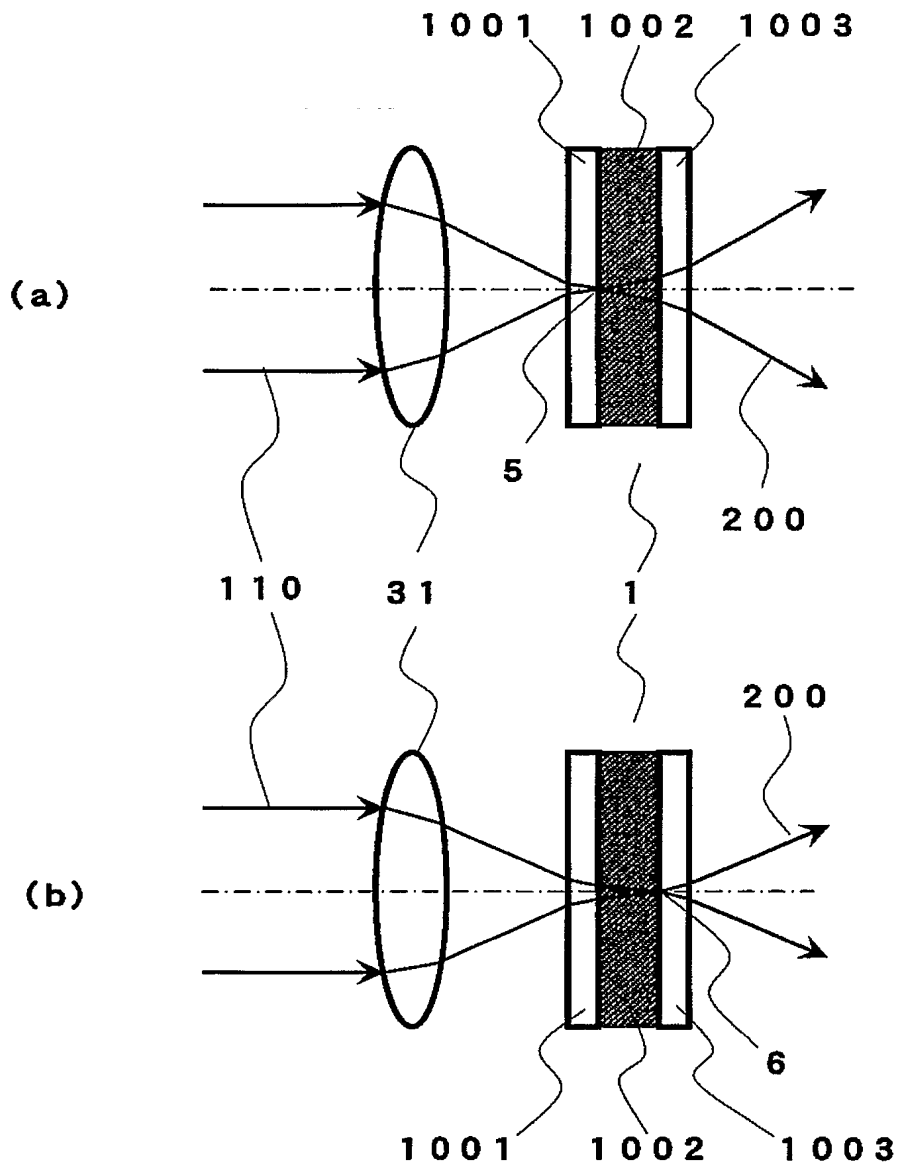
【図 5】



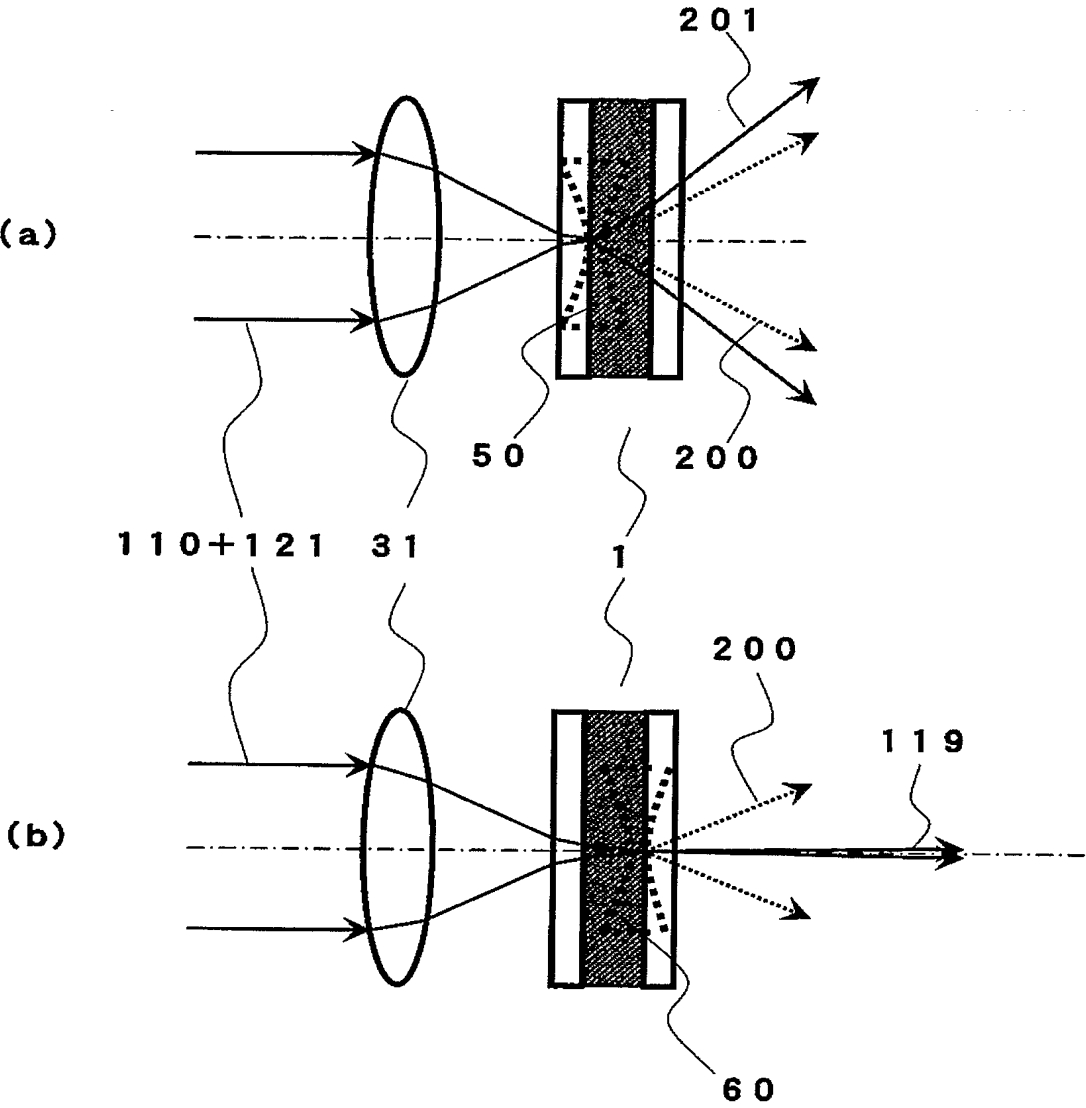
【図 6】



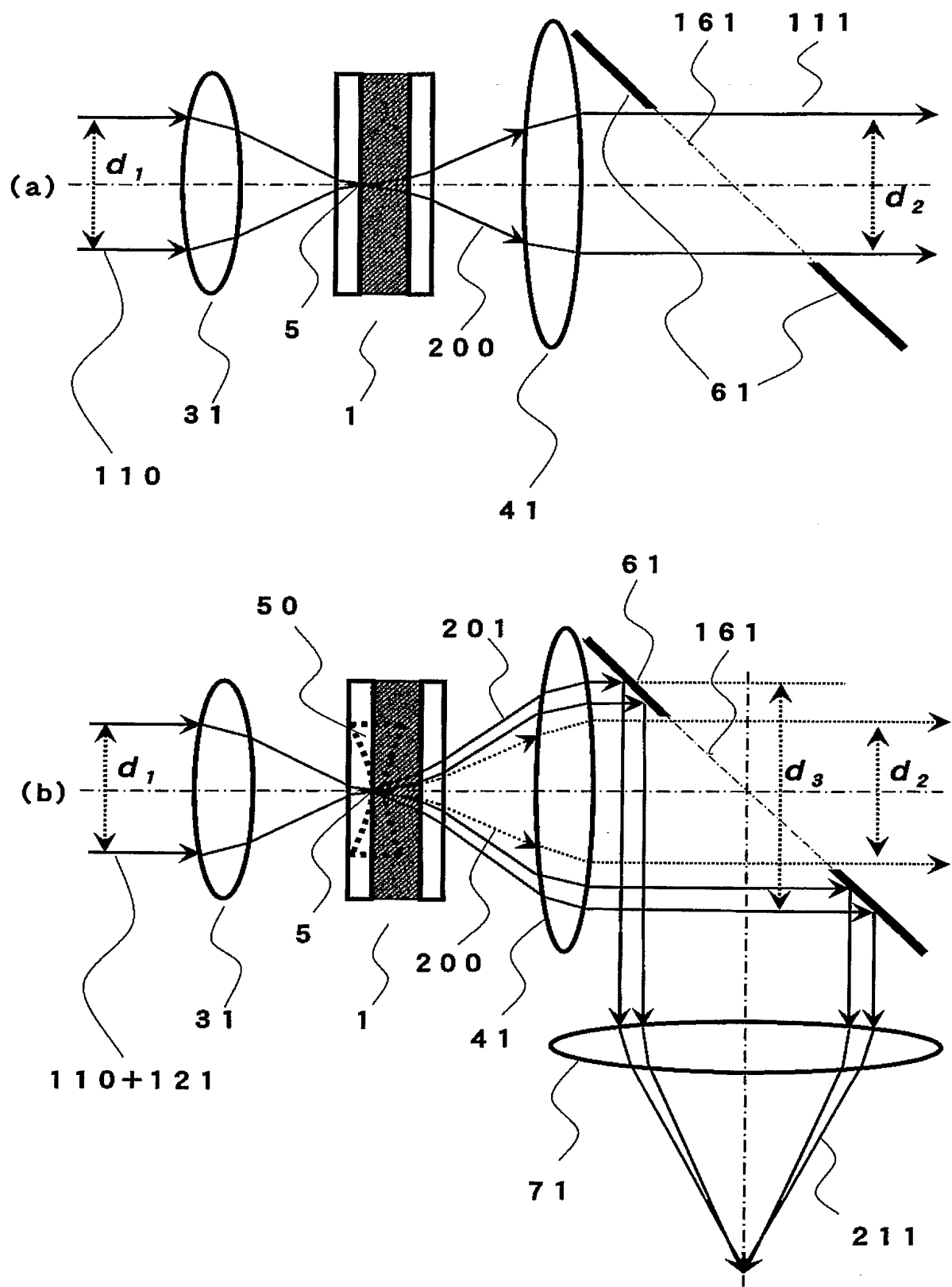
【図 7】



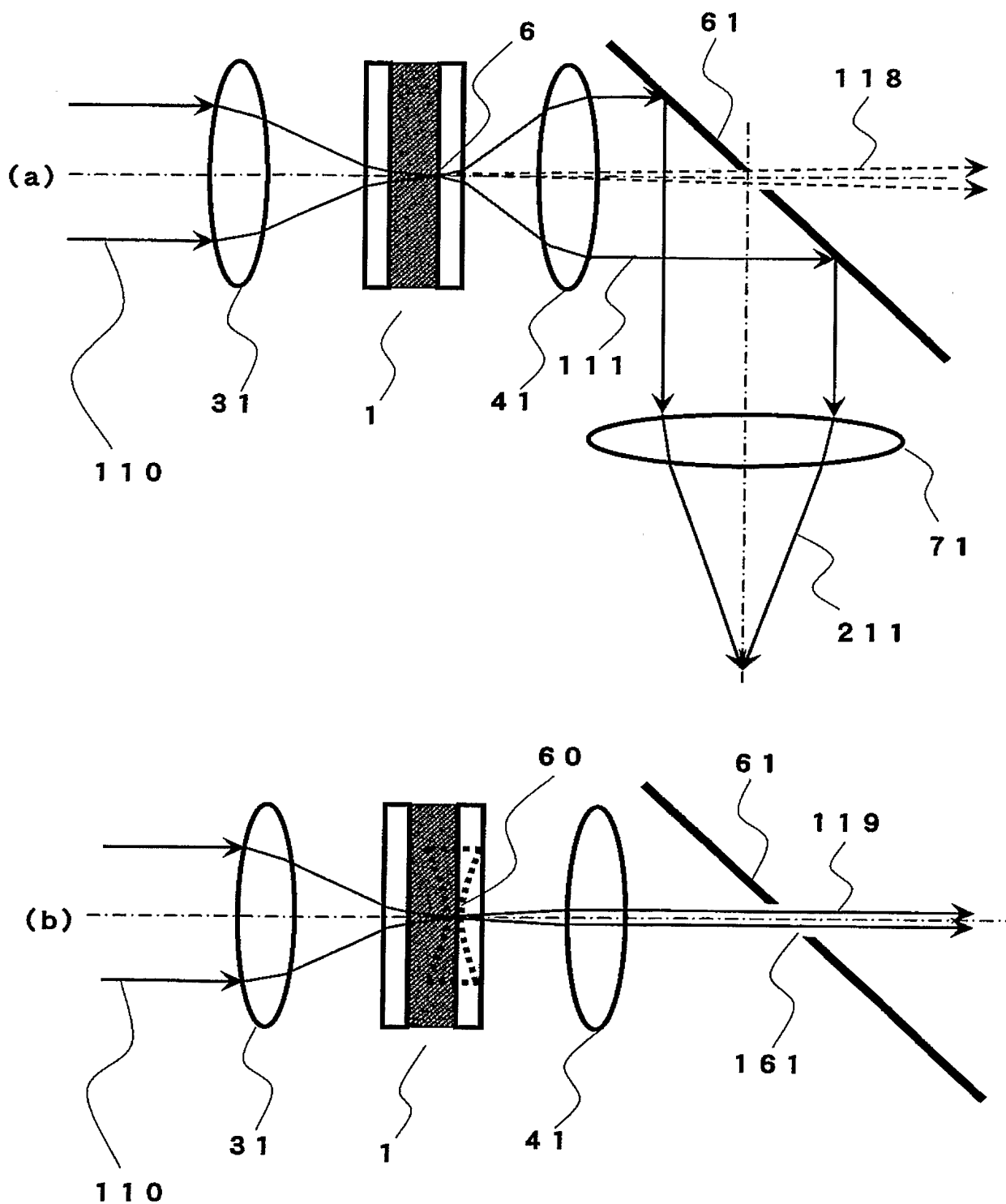
【図 8】



【図 9】

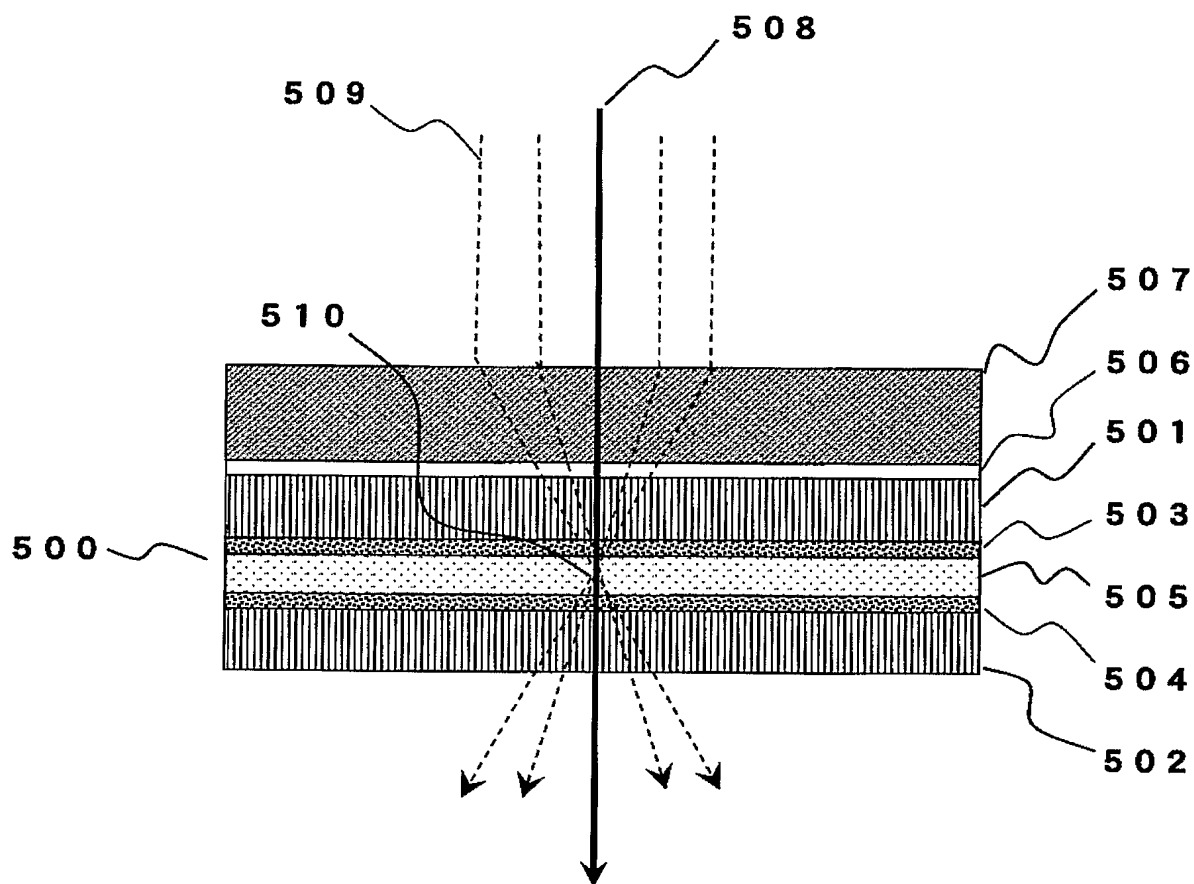


【図 10】

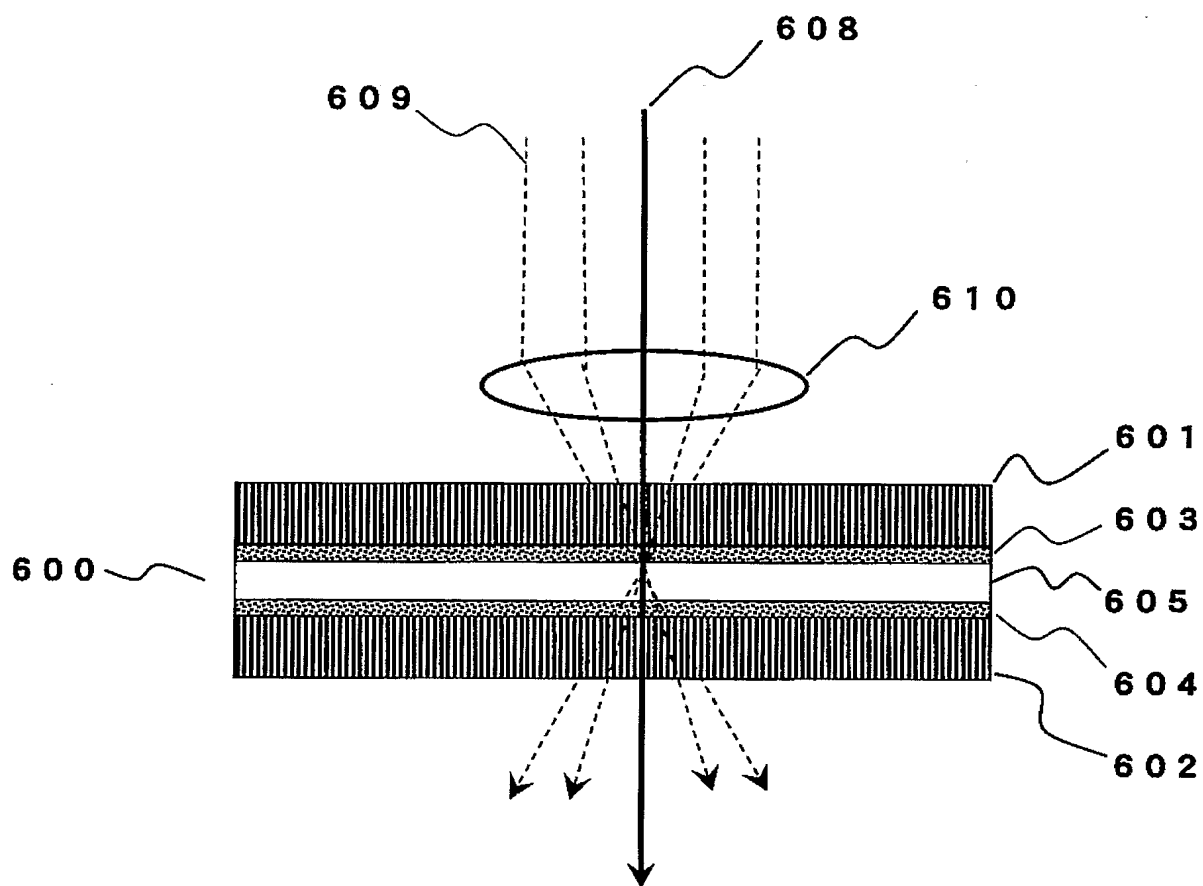




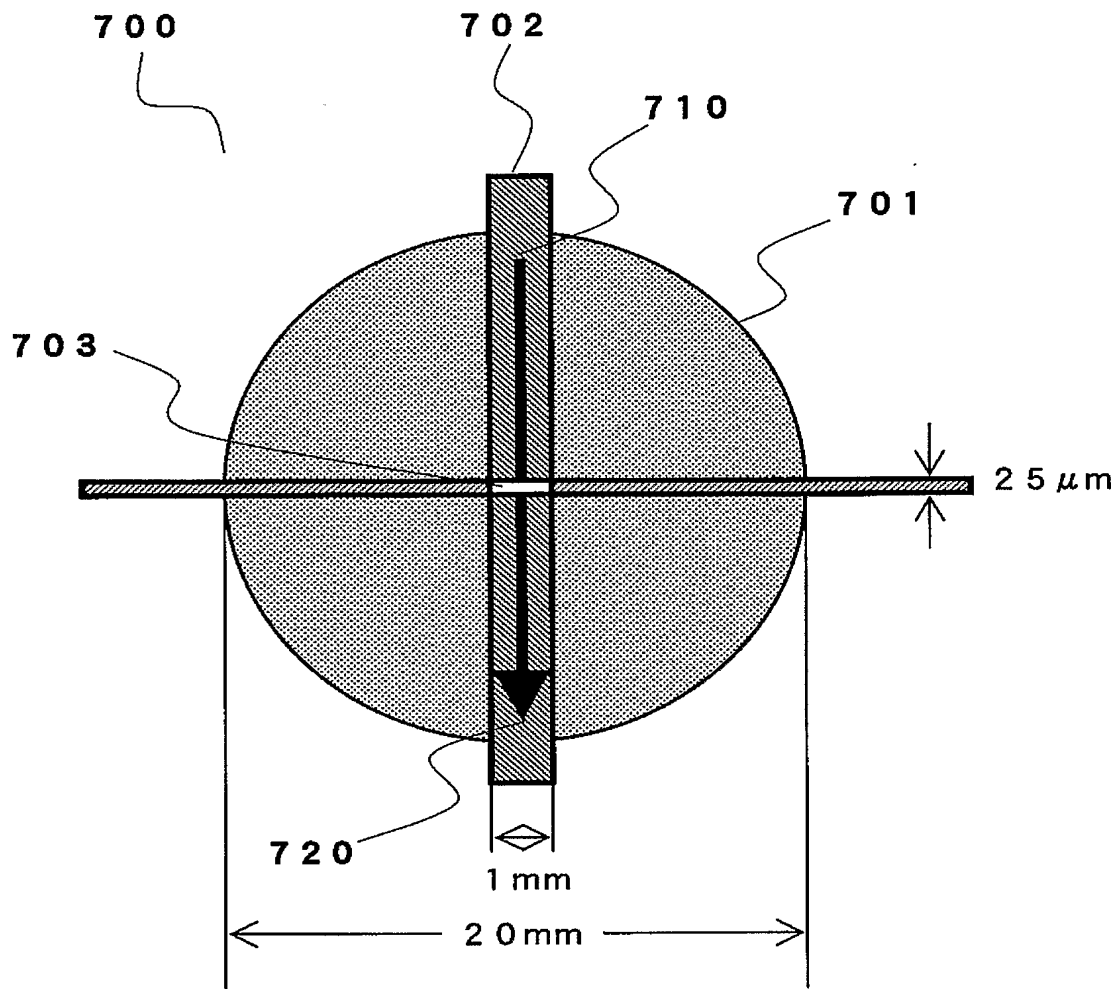
【図 11】



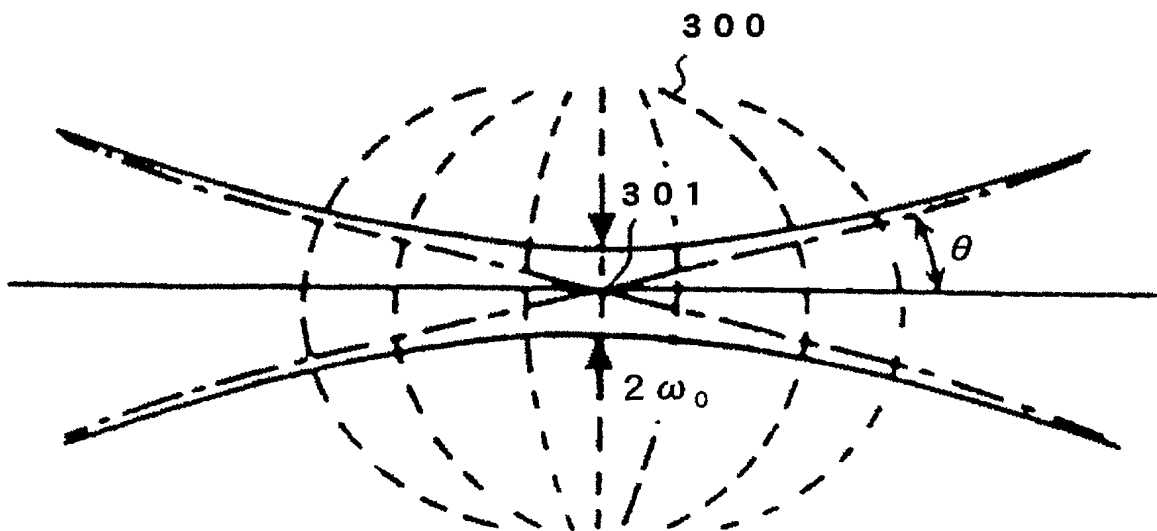
【図 12】



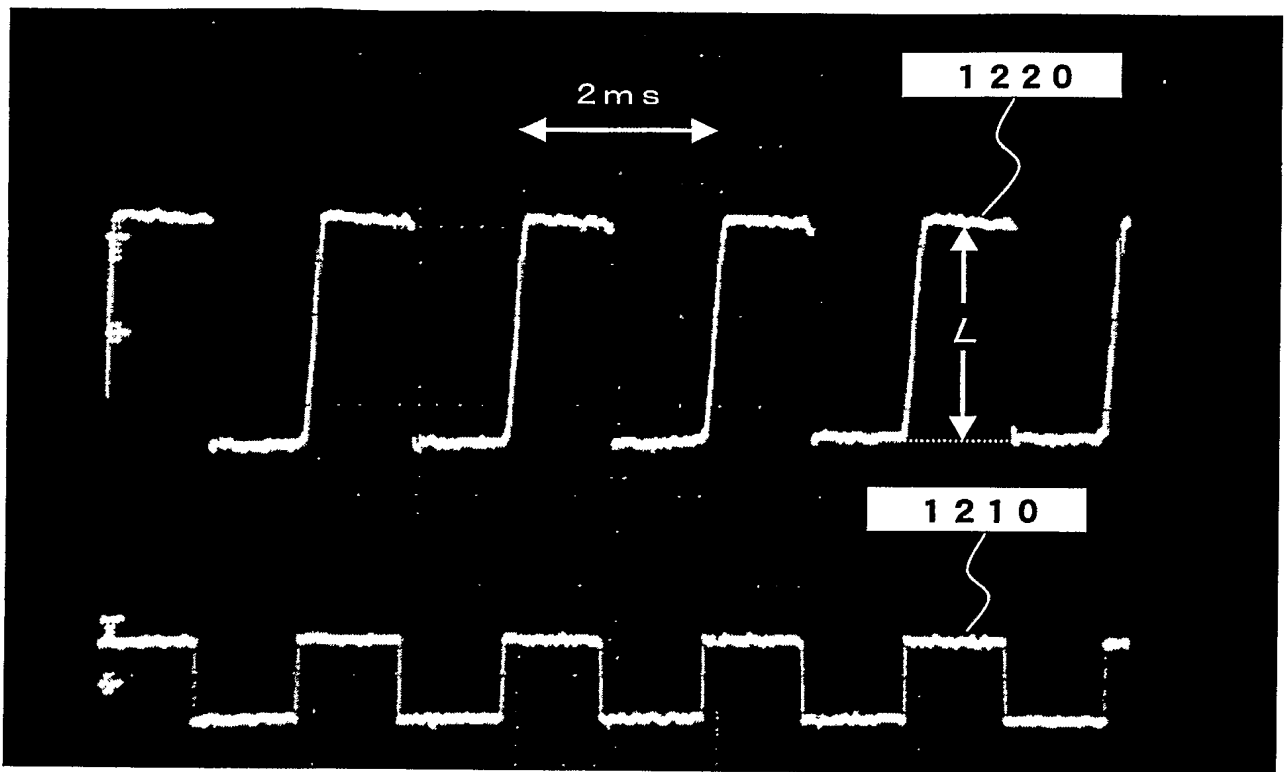
【図13】



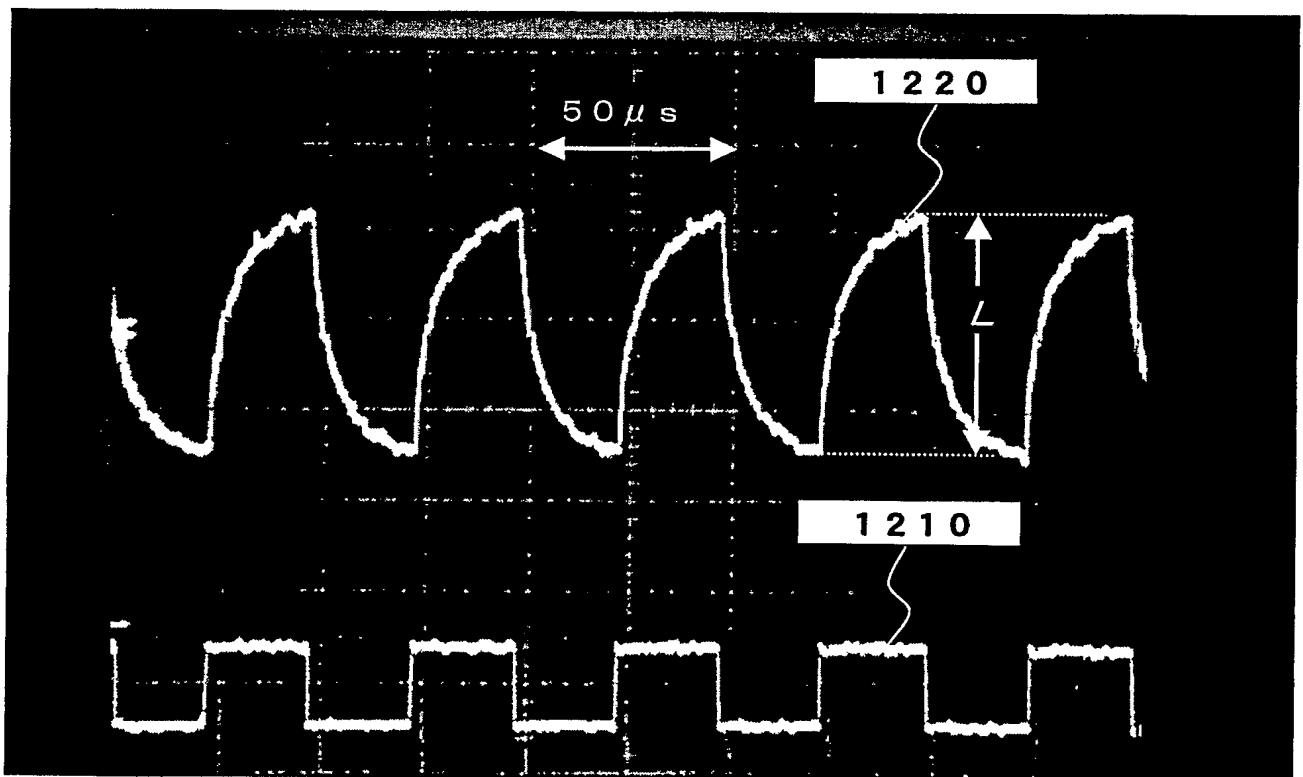
【図14】



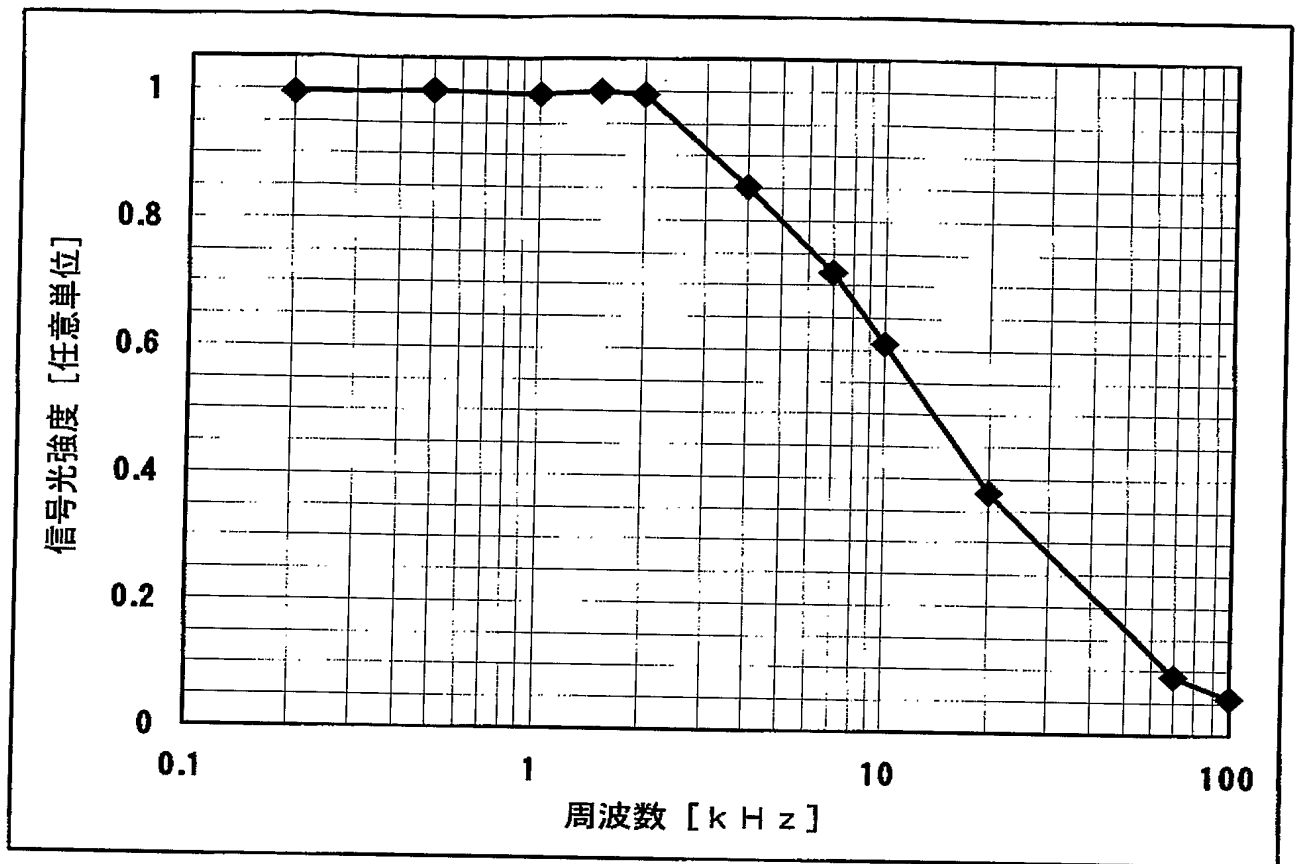
【図 15】



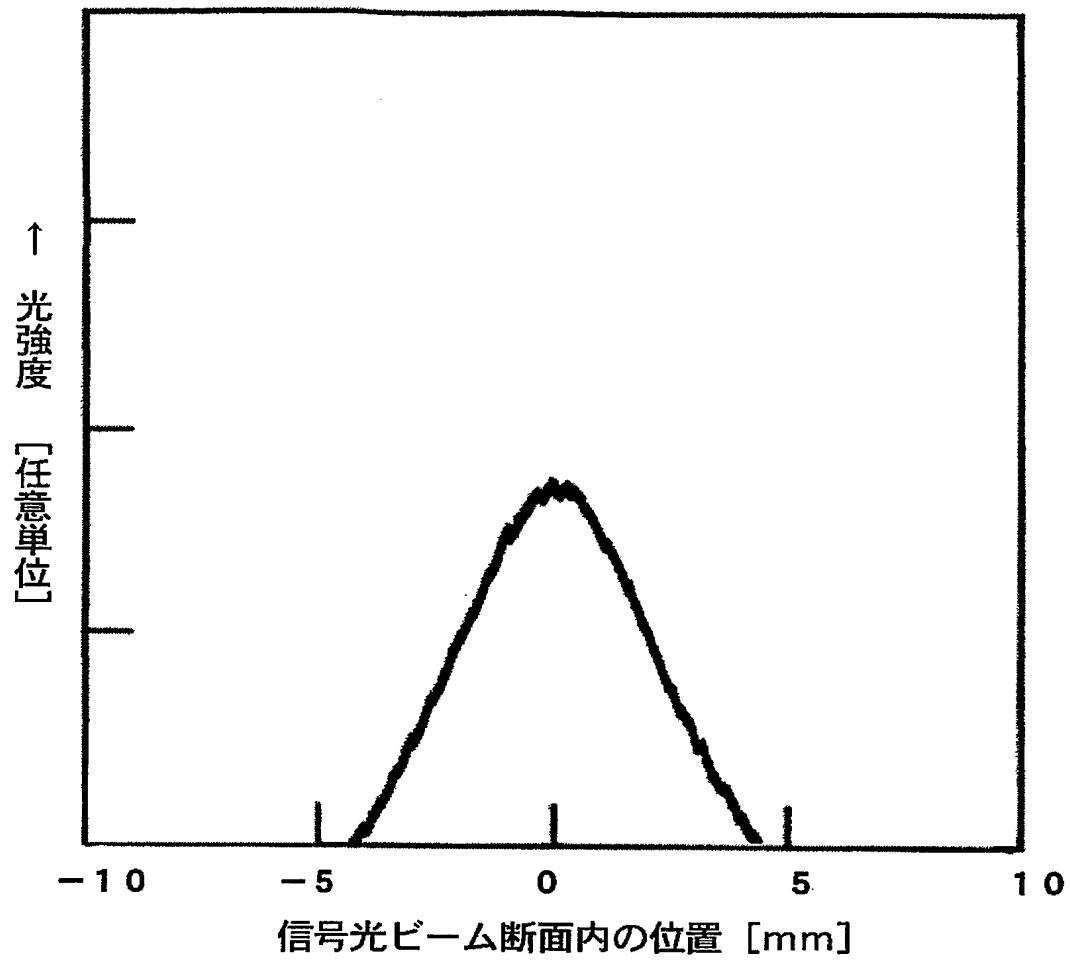
【図 16】



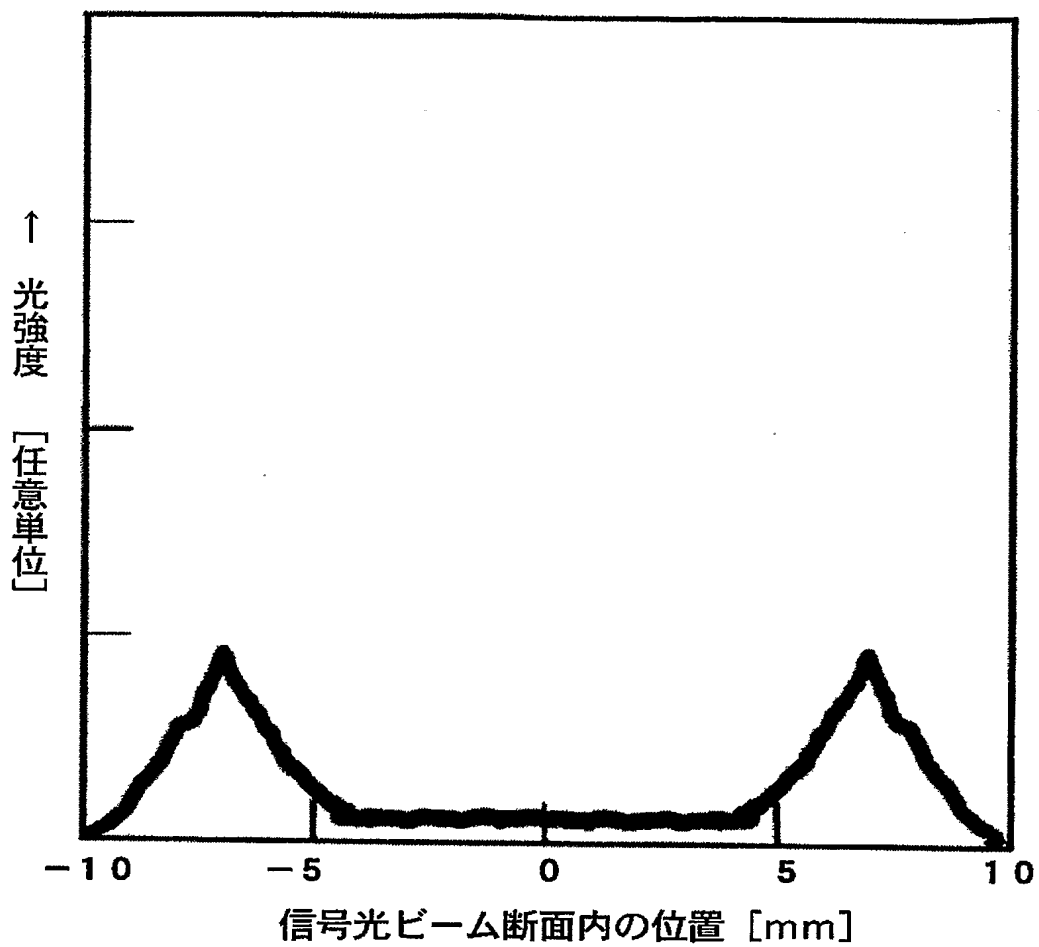
【図 17】



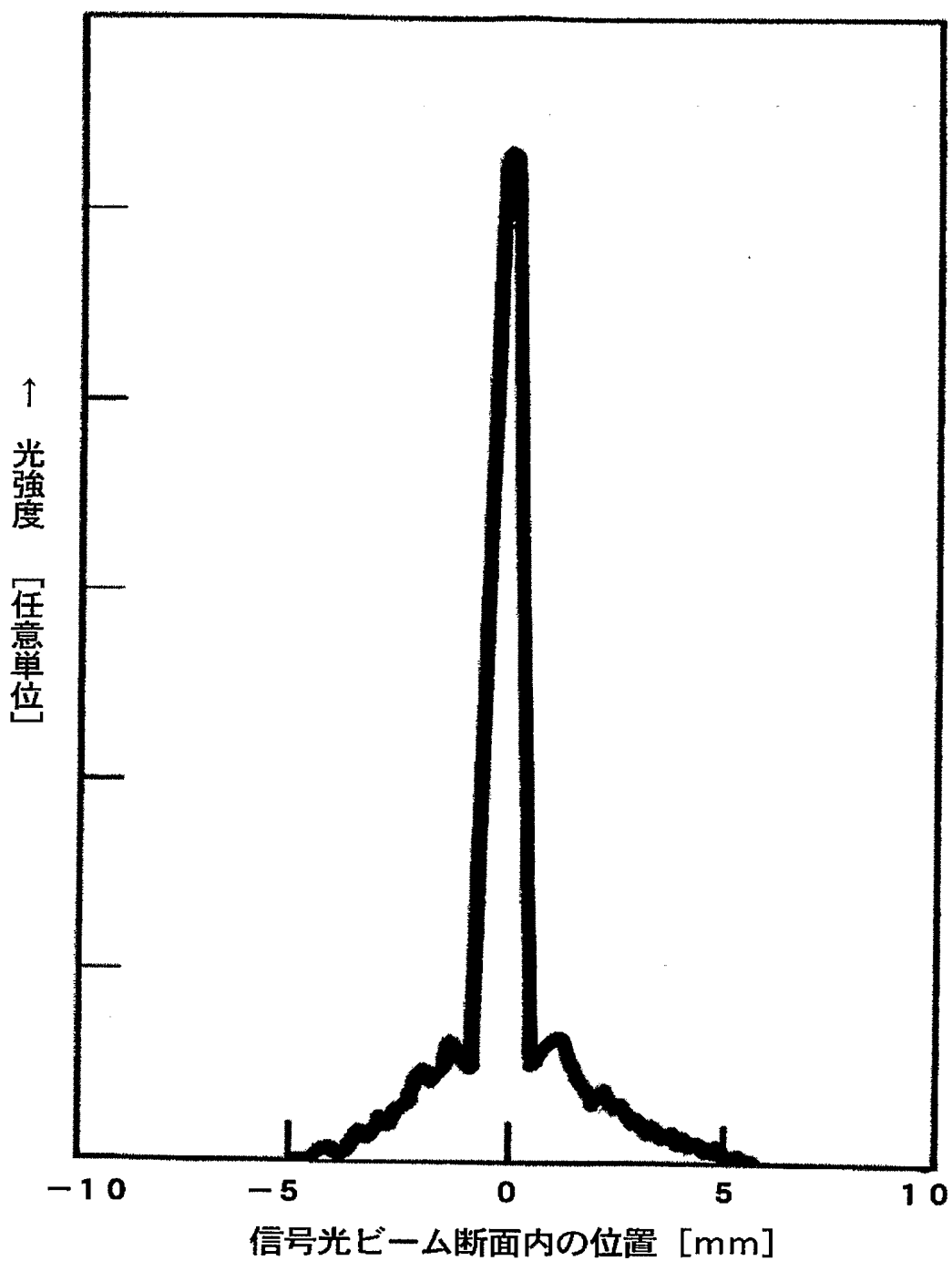
【図 18】



【図 19】

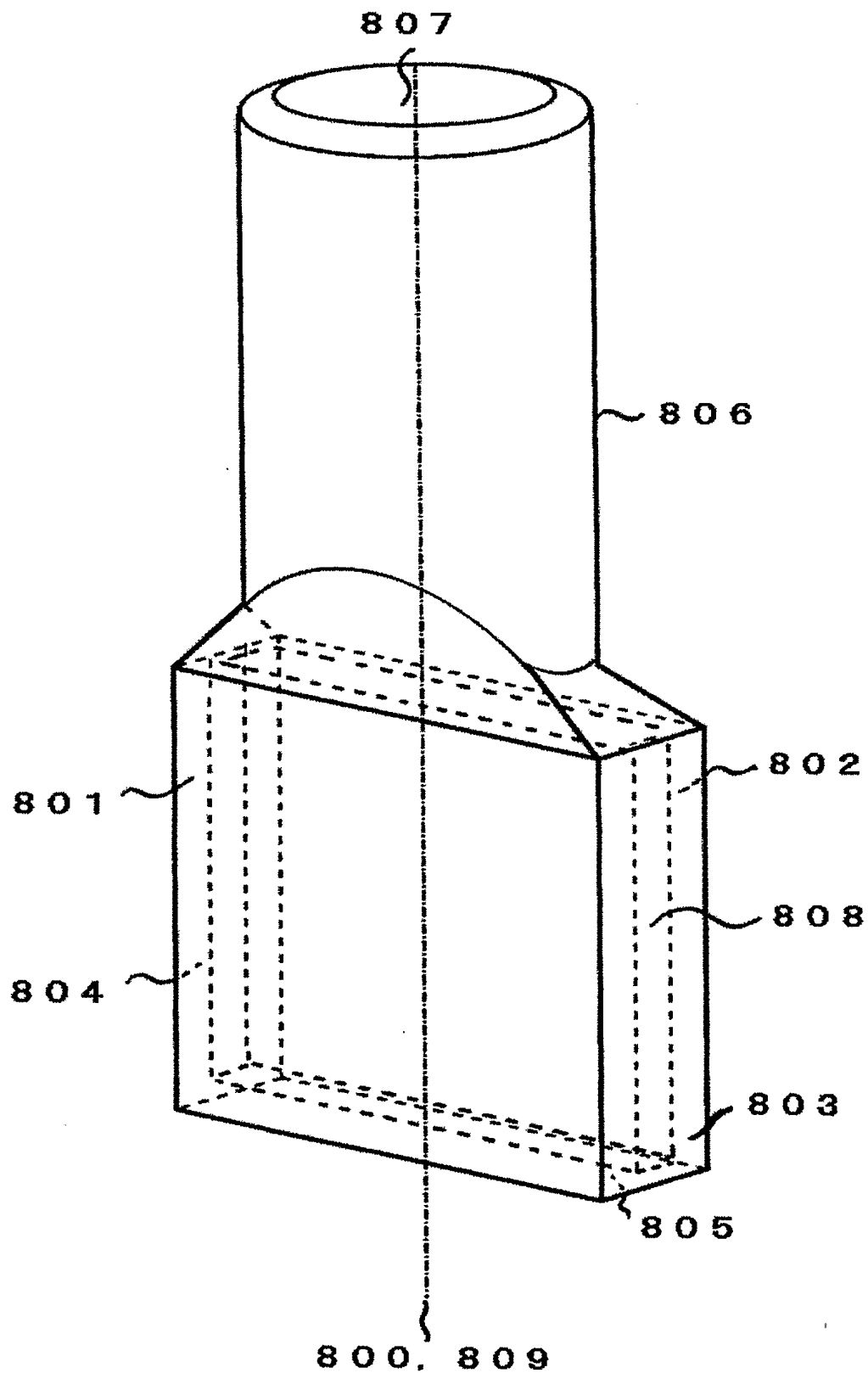


【図 20】

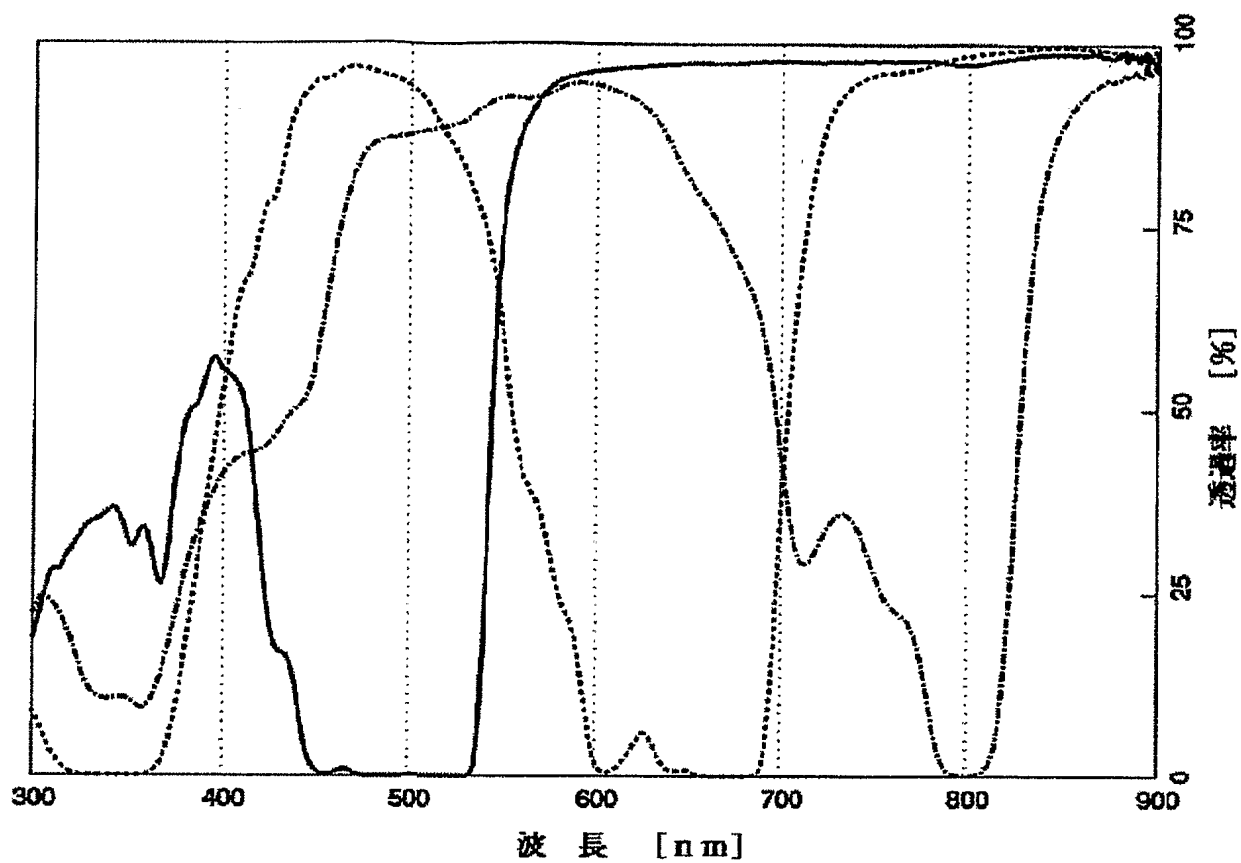




【図 21】



【図 22】



## 【書類名】要約書

## 【要約】

【課題】高速で作動し、耐久性の高い、偏波依存性のない、光制御式光路切替型光信号伝送装置および光信号光路切替方法を提供する。

【解決手段】少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子 1, 2, 3 中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる互いに異なる波長の制御光 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3、および、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる単一波長の信号光 1 1 0, 1 1 1, 1 1 2 を各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光 1 2 1, 1 2 2, 1 2 3 が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、前記信号光が通過する穴を設けた鏡の穴 6 1, 6 2, 6 3 を通して直進させ、一方、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子 1, 2, 3 から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、あるいは、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーを用いて反射することによって光路を変更させる光信号光路切替方法である。

【選択図】図 1 a

特願 2 0 0 4 - 0 4 4 9 9 1

ページ : 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 2 8 2 0 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都中央区日本橋馬喰町 1 丁目 7 番 6 号

氏 名

大日精化工業株式会社

特願 2 0 0 4 - 0 4 4 9 9 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 0 1 0 2 1 5 3 3 ]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 4 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関 1 - 3 - 1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所